Aus dem Institut für Arbeitsmedizin
der Universität Düsseldorf
Direktor: Professor Dr. med. Dr. phil. Gerd Jansen

Zur Bedeutung der Information eines Geräusches für die Wirkung von Lärm auf den Menschen

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Medizin

Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
vorgelegt von

Erich Schröder

1988

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Aus dem Institut für Arbeitsmedizin der
Universität Düsseldorf
Direktor: Professor Dr. med. Dr. phil. Gerd Jansen

Zur Bedeutung der Information eines Geräusches für die Wirkung von Lärm auf den Menschen

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
vorgelegt von

Erich Schröder
1984

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

gez.:
Dekan: Prof. Dr. Hopf
Referent: Prof. Dr. Dr. Jansen
Korreferent: Priv.-Doz. Dr. Winneke

"Himmlische Ruhe und tödliches Schweigen
haben den gleichen Schallpegel"

I n h a l t

		Seite
1.	Einleitung	1
1.1.	Ein Problem aus der Lärmforschung	1
1.2.	Energie und Information	10
1.3.	Gesetzmäßigkeiten zwischen biologischen und physikalischen Größen	13
1.4.	Kybernetik	15
2.	Information	28
2.1.	Begriffsbestimmung	28
2.1.1.	Objektive Information	32
2.1.1.1.	Die syntaktische Komponente	32
2.1.1.2.	Die semantische Komponente	38
2.1.2.	Subjektive Information	40
2.1.3.	Weitere Begriffe	43
2.2.	Anwendungen des Informationsbegriffes auf die Informationsverarbeitung im Menschen	48
2.2.1.	Die Informationsaufnahme im Menschen	48
2.2.1.1.	Untersuchung der eintreffenden Nachricht	48
2.2.1.2.	Untersuchung der menschlichen Wahrnehmung	53
2.2.2.	Die Informationsverarbeitung im Menschen	55
2.2.2.1.	Die "Enge des Bewußtseins"	55
2.2.2.2.	Das Gedächtnis	57
2.2.2.3.	Lernen und Denken	58
2.2.3.	Anwendung des Informationsbegriffes auf die Geräuschbeurteilung	63

Seite

3.	Das System	68
3.1.	Begriffsbestimmung	68
3.2.	Grundsätzliche Möglichkeiten der Betrachtung eines menschlichen IV-Systems	70
3.3.	Aufbau des zu untersuchenden menschlichen IV-Systems	73
3.3.1.	Aufbau des Systems aufgrund seiner Phaenomenologie	73
3.3.2.	Der physiologische Aufbau des Systems	76
3.3.3.	Die "intervenierenden Variablen"	82
3.4.	Das Aktivierungskonzept	83
3.5.	Andere Konzepte	89
3.6.	Versuch einer Synthese	92
4.	Experimentelle Untersuchung eines Teilaspektes	98
4.1.	Allgemeine Vorbemerkungen zu Aktivierungsexperimenten	98
4.2.	Planung des eigenen experimentellen Ansatzes	104
4.2.1.	Diskussion der allgemeinen Vorbemerkungen	104
4.2.2.	Herstellung von Geräuschen mit variablem Informationsfluß	107
4.2.3.	Oberlegungen zur Reaktionsgröße "Hautwiderstandsreaktion"	112
4.2.3.1.	Die GSR als Orientierungsreaktion	112
4.2.3.2.	Die Entstehung der GSR	114
4.2.3.3.	Merkmale im Erscheinungsbild der GSR	117
4.2.4.	Erkenntnisse aus Vorversuchen	119
4.2.5.	Aufbau und Durchführung des Experimentes	123
4.3	Ergebnisse des Experimentes	128
5.	Diskussion	132

1. Einleitung

1.1. Ein Problem aus der Lärmforschung

Lärm ist - nach einer geläufigen Kurzdefinition (vgl. /90/) - unerwünschter, störender oder gesundheitsschädlicher Schall. Eine ausführlichere eigene Rahmendefinition beschreibt Lärm als "Schallereignis, das bei betroffenen Personen in der jeweils aktuellen Situation bestimmte beeinträchtigende Wirkungen hervorruft".
Die Begriffe "betroffene Personen","aktuelle Situationen" und "beeinträchtigendeWirkungen" werden dabei weiter präzisiert. /133/ .
Schall kann also für einen Hörer unter bestimmmten Umständen zu Lärm werden; nach einer eigenen Zusammenfassung an anderer Stelle /132/ ist dies in folgenden 4 wichtigen Fällen zu erwarten (ausführlich in /131/):

1. der Schallpegel ist für den Hörer zu hoch;
2. die Struktur des Schalls ist für den Hörer zu kompliziert;
3. der Schall trägt eine für den Hörer unsympathische Bedeutung;
4. die Aufnahmekapazität des Hörers ist eigentlich für einen anderen Vorgang reserviert.

Während im 1. Fall leicht der physikalische Parameter Schalldruck bzw. Schallenergie* als Ursache für das Lärmempfinden zu erkennen ist, scheint ein solcher objektiver, physikalischer Parameter für die Fälle 2, 3, 4 nicht vorzuliegen. In diesen Fällen ist eher die Bewertung des Schalles durch den Hörer entscheidend. (Vgl. auch Großmann, in /27/).
Besonders die Fälle 3, 4 sind offenbar von der individuellen Verfassung und der augenblicklichen Situation des Empfängers bestimmt.

*Energie soll in diesem Zusammenhang als Schallenergie am Ort des Hörers verstanden werden.

Es gibt dennoch einen Begriff, durch den sich diese drei Fälle 2, 3, 4 gemeinsam beschreiben lassen: die Information (/132/).
Unter Information wird - wie in 2.1. noch ausführlich dargestellt - sowohl die Komplexität einer Struktur, als auch die Bedeutung einer Nachricht verstanden. Auch läßt sich mit einem Informationsmaß die Aufnahmekapazität erfassen.

Ob ein Schall von einem Hörer als Lärm empfunden wird, hängt demnach von seiner Energie und seiner Information ab.

In weitaus den meisten Untersuchungen der Lärmforschung wird die Energie des Schalls (Lautstärke) variiert, um dann auf verschiedene Art und Weise (ausführlich in 3. und 4.) Hinweise auf das Lärmempfinden zu erhalten.
Dabei werden eigentlich zwei Größen variiert, die Amplitude und die Frequenz des Schalls, sodaß ein unterschiedliches Amplitudenspektrum über der Frequenz erzeugt wird. Dieses Spektrum wird dann wieder mit einer Maßzahl, dem frequenzbewerteten Schallpegel (z.B. L_A, mit A- Bewertung) beschrieben.

Diese Beschränkung der Untersuchungen auf die Schalleigenschaft Energie hat einleuchtende Gründe:
Ein wesentliches Ziel der Lärmforschung ist, Grenzwerte der Zumutbarkeit und der Belastbarkeit für den Lärm zu finden, die Grundlage entsprechender Gesetze oder Richtlinien sein können. Um einen solchen Grenzwert in dieser Art verwenden zu können, muß er in einem einfachen, objektiven und reproduzierbaren Maß darstellbar sein, um die Kontrolle und Durchsetzung des Gesetzes oder der Richtlinie zu ermöglichen.

Der bewertete Schallpegel erfüllt diese Bedingung, der weitgefaßte Begriff Information dagegen nicht.

Dennoch ist eine Beschränkung der Untersuchungen auf eines von 4 Kriterien für eine Lärmempfindung unbefriedigend, so zweckmäßig sie auch für praktische Belange erscheint.

Der Zusammenhang zwischen dem Schallpegel eines Geräusches und dessen Bewertung durch den Hörer wurde bereits vielfach untersucht.

Zum Beispiel wird in einer großen Untersuchung im Rahmen des Fluglärm- Projektes der DFG /26/ ein linearer Zusammenhang zwischen Fluglärm als Störfaktor (Spontannennungen) und einem eigenen Maß FB1* für Fluglärm festgelegt, in das die Zahl der Oberflüge pro Zeiteinheit und deren A- bewerteter Schallpegel eingehen. Ebenso zeigen bei dieser Befragung Angaben über Störungen der Kommunikation und Störung von Ruhe und Entspannung einen linearen Zusammenhang zu dem Fluglärmmaß FB1*.

In zahlreichen weiteren Untersuchungen wurde der Zusammenhang zwischen dem Schallpegel von Geräuschen und physiologischen Reaktionen (vgl. 3.3.1.) des Hörers ermittelt. Einige physiologische Meßgrößen zeigen dabei eine streckenweise lineare Abhängigkeit, teils - für höhere Schallpegelwerte - zu einem Sättigungswert ansteigend, teils auch mit U- förmigem Verlauf /88/.

Diese letztgenannten Zusammenhänge, die lediglich für einen bestimmten Bereich (physiologische Reaktionen) den Fall 1 quantitativ bestätigen, konnten aber nur dann abgesichert werden, wenn bei Variation des bewerteten Schallpegels alle anderen Schallparameter und evtl. Einflußgrößen möglichst konstant gehalten wurden und die Versuchspersonen (VPn) sich im Ruhezustand in einer reizarmen Umgebung befanden. Zudem wurde meist das wohl informationsärmste Geräusch "Weißes Rauschen" verwendet.

Diese "sterile" Laborsituation entspricht bis auf wenige Ausnahmen (z.B. Einschlafsituation) wohl nicht den tatsächlichen Verhältnissen bei einer Lärmempfindung.

UMWELT BIBL

---

* $FB1 = 10 \lg \frac{L_{Ai}}{1010} + 10 \lg N - 50$

Es stellt sich daher die Frage, ob nicht in der Praxis die Fälle 2, 3, 4 sogar einen stärkeren Einfluß auf das Entstehen einer Lärmempfindung haben als der Fall 1, d.h. daß die Information des Schalls mehr als seine Energie dafür verantwortlich ist, wenn Schall zu Lärm wird.
Dafür sprechen einige Beispiele aus der Selbsterfahrung und manche Untersuchungsergebnisse:

Ein tickender Wecker wird beim Einschlafen als lästig und störend, mithin als Lärm empfunden, da die Information über seine Funktion zu diesem Zeitpunkt unerwünscht ist. Das gleiche Geräusch wird als zu leise erlebt, wenn in einem lauten Raum die Funktion des Weckers überprüft werden soll. Die Information ist dann erwünscht, insofern ist es für den Hörer nicht mehr dieselbe Information (vgl. 2.1.2.).

In einem ähnlichen Experiment von Sader /123/ dient ein laut tickender Wecker einmal als Zeitmeßgerät (1. Gruppe), einmal als absichtlich herbeigeführtes Störgeräusch (2. Gruppe) bei der Durchführung von Testaufgaben. Dabei zeigt die 2. Gruppe signifikant schlechtere Leistungen im Test; die VPn der 1. Gruppe nehmen das Ticken oft nicht einmal bewußt wahr.

In einer anderen Untersuchung analysiert Sader /124/ eine große Anzahl von Lärmbeschwerden und findet 5 wesentliche Gesichtspunkte für die Phänomenologie des Lärmerlebens:

1. Schall als Behinderung der gewollten Aufnahme akustischer Reize;
2. Schall als erlebte physiologische Beeinträchtigung;
3. Schall als Indiz;
4. Unspezifische Oberempfindlichkeit gegen Geräusche;
5. Lärm als Oberbegriff für überwiegend nichtakustische Phänomene.

Von diesen 5 Gesichtspunkten lassen sich nur für 2. und den 4. Grenzwerte mit Hilfe der Schallenergie formulieren.
Die übrigen Gesichtspunkte ergeben sich aus der vom Schall übertragenen Information.

Hawel /57/, /58/, /59/, /60/, /61/, /62/ unterscheidet 5 Parameter, die zur Lästigkeit eines Geräusches beitragen:

1. die spezifische Erlebnisweise der in Frage stehenden Persönlichkeit;
2. die jeweils gegebene Situation, wie sie momentan erlebt wird;
3. die momentan ausgeübte Tätigkeit;
4. die spezifische Eigenart des Geräusches;
5. die Lautstärke.

Die Parameter 1, 2, 3 sind subjektiv, auf den Hörer bezogene Merkmale und lassen sich nicht durch physikalische Schalleigenschaften, möglicherweise aber durch den Informationsbegriff erfassen. Der Parameter 4 hat sowohl nicht- physikalische (spezifische Informationen des Geräusches), als auch physikalische (z.B. Frequenz) Komponenten.

Untersuchungen über den Einfluß der zeitlichen Struktur eines Schalls gibt es von Ward, Glorig, Sklar (1959), Ward (1962), v. Eiff (1964; 1965), v. Lüpke (1965), Mittag, Lübcke, Gummlich (1966), und Lübcke, Gummlich (1966) (alle in /64/). Sie bestätigen die Aussage von Fall 2.

Für den Fall 4 der Behinderung der Aufnahme anderer Informationen durch Geräusche ist der Sonderfall der Sprachverdeckung bereits hinreichend untersucht. (Ausführlich von Harris und Kryter). Als Überschlagsrechnung kann für einen maximalen Störgeräuschpegel bei einem nicht zu informationshaltigen Geräusch und Umgangssprache ein Pegel von etwa 10 dB (A) unter dem Sprachpegel angenommen werden, wenn die Verständlichkeit in einem vernünftigen Maß erhalten bleiben soll /90/ .

Hörmann, Mainka, Gummlich /64/ verändern die subjektive Valenz ein und derselben Geräuschfolge, indem sie diese einmal als Signal für die richtige Durchführung einer Folgebewegung (Belohnung), einmal als Signal für die falsche Durchführung einer Folgebewegung (Strafe) und zur Kontrolle einmal ohne Bedeutung ablaufen lassen. Zwei physiologische Meßgrößen, die zeitweilige Hörschwellenverschiebung (TTS) und die Muskel - spannung (EMG) zeigen ähnliches Verhalten: Die geringste Reaktion erfolgt bei neutraler Geräuschbewertung, eine etwas stärkere (für EMG signifikant) bei positiver Bewertung (Belohnung) und die signifikant (TTS) bzw. hochsignifikant (EMG) stärkste Reaktion bei negativer Bewertung (Strafe).

Eine ähnliche Untersuchung gibt es von Cederlöf et al. (in /90/). Sie lassen von VPn Flugzeug- und Kfz- Geräusche im Hinblick auf ihre Störwirkung beurteilen, nachdem vorher durch neutrale, positive oder negative Informationen eine entsprechende Beeinflussung im Hinblick auf das Testgeräusch erfolgt ist. In Abhängigkeit von dieser Vorinformation ergeben sich erhebliche Unterschiede in der Beurteilung der Geräusche.

Block /11/ vergleicht die Hautwiderstand- Reaktionen (GSR) auf unerwartete, angekündigte und falsch angekündigte Geräusche gleicher Lautstärke (65 $dB_{(A)}$) und stellt fest: Auf unerwartete Geräusche erfolgt eine wesentlich stärkere Reaktion als auf angekündigte Geräusche. Dagegen hat das Ankündigen eines anderen Geräusches keinen bedeutenden Einfluß auf die Stärke der Reaktion.

Jansen /71/, /72/ bemerkt bei Experimenten, daß nur informationsarme Geräusche einheitliche Reaktionen hervorrufen. Informationshaltige Geräusche, z.B. alle plötzlich einsetzenden, erzeugen nicht- einheitliche, d.h. individuell verschiedene Reaktionen. In einer neueren Untersuchung vermutet Jansen, daß im Zusammenhang mit Schlafstörungen der Informationsgehalt eines Geräusches einer der wesentlichsten Einflüsse auf die Reagibilität auf Geräusche darstellt /78/ . Ebenfalls bestätigt Jansen, daß eine akustische Einwertangabe der Lärmbelastung in der Regel nicht sämtliche Aspekte unter medizinischen Gesichtspunkten abdeckt (/79/).

Auch Bürck /16/ weist aufgrund von Fluglärmuntersuchungen daraufhin, daß Lärmwirkungen wesentlich vom Informationsinhalt der Geräusche mitbeeinflußt werden.

Buschmann /17/ untersucht die Hautwiderstand- Reaktionen (GSR) zweier VP- Gruppen auf Fluglärm; die eine Gruppe besteht aus Flughafenanwohnern (Düsseldorf, Lärmzone 1), die Vergleichsgruppe (Essen) ist nicht vom Fluglärm betroffen. Es zeigen sich charakteristische und signifikante Reaktionsunterschiede beider Gruppen auf dieselben Geräusche:
Die fluglärmerfahrende Gruppe reagiert im allgemeinen schwächer, bei einer speziellen Störungssituation (Störung eines Hörspiels) dagegen wesentlich stärker als die Vergleichsgruppe.

Auch Schönpflug /131/ betont die informationsübertragende Eigenschaft des Schalls. Er stellt fest:
"Als Überträger von Information muß Schall grundsätzlich immer willkommen sein, solange eine Orientierung in der Umwelt angestrebt wird". Der Übergang von Schall zu Lärm sei eine subjektive Bewertung des Individuums.
An anderer Stelle /127/ bezweifelt Schönpflug den vielfach als gegeben angenommenen Kausalzusammenhang zwischen Lautheits- und Lästigkeitsempfindung mit Ausnahme von Lautstärken im Bereich der Gehörschädigung. Er beschreibt 7 weitere Kriterien für Lästigkeit, die auf individuell - subjektive Befunde zurückgehen.

Klosterkötter /90/ unterscheidet zwischen physikalischen und nicht- physikalischen Determinanten für die Auslösung von Belästigungserlebnissen und stellt dazu fest:
"Es gibt Belästigungserlebnisse, bei denen keine Proportionalität zwischen physikalischer Intensität und negativ emotionalem Effekt mehr erkennbar ist". Bei den nicht- physikalischen Determinanten sei die Informationshaltigkeit der Geräusche von besonderer Bedeutung.

Aufgrund dieser Untersuchungen und der einleitenden Überlegungen läßt sich feststellen:
Legt man einen weitgefaßten Informationsbegriff zugrunde, so läßt sich ein Schall in Bezug auf einen Hörer durch zwei fundamentale Eigenschaften beschreiben: seine Energie und seine Information.
Der Zusammenhang zwischen der Schallenergie und dem Entstehen einer Lärmempfindung, sowie physiologischen Reaktionen ist bereits vielfach untersucht und kann trotz erheblicher individueller Unterschiede weitgehend als gesichert angesehen werden.
Über den Zusammenhang zwischen der Schallinformation und dem Entstehen einer Lärmempfindung, sowie physiologischen Reaktionen gibt es nur Erfahrungen aus Einzeluntersuchungen, aber noch kein geschlossenes Konzept.
Qualitativ erscheint ein solcher Zusammenhang unbestreitbar.

Von besonderer Bedeutung ist, daß die Information - außer in ihrer Eigenschaft als Strukturmaß - eine subjektive, also hörerbezogene Größe ist. Sie kann individuell bei ein und demselben Geräusch verschieden sein.
Z. B. trägt ein Motorengeräusch für einen Motorradfahrer eine ganz andere Information, als für einen Unbeteiligten, der sich davon vielleicht gerade belästigt fühlt.
Die Information kann aber auch bei dem gleichen Geräusch für dieselbe Person zu einem anderen Zeitpunkt anders sein, wenn dazwischen Lerneffekte, Motivierung, Gewöhnung, Sensililisierung oder einfach Stimmungswechsel oder Änderungen der äußeren Situation liegen.
Übertragen auf das Lärmproblem bedeutet das:
Ob ein Schall als Lärm empfunden wird, hängt von seiner Bewertung durch den Hörer ab. Diese ist entscheidend abhängig von Eigenschaften des Hörers und von der Situation.

Die Information ist demnach auf keinen Fall durch eine wie auch immer geartete objektive Schallmessung voll erfaßbar.

Andererseits lassen einige der genannten Beispiele und Ergebnisse aber vermuten, daß für das Entstehen einer Lärmempfindung die Information eines Geräusches entscheidender ist als seine Energie.
Diese Untersuchung soll dazu beitragen, den Informationsbegriff für die Lärmforschung anwendbar zu machen.

Es wird zunächst der sehr weit gefäßte Informationsbegriff präzisiert, d.h. soweit wie möglich doch einer physikalischen Beschreibung zugänglich gemacht. Seine Anwendung zur Beschreibung von Schallereignissen wird diskutiert, unter besonderer Berücksichtigung der Verarbeitung

akustischer Signale im Menschen. Schließlich wird experimentell für einen Teilbereich der Information der Zusammenhang zwischen der Geräuschinformation und der Bewertung dieses Geräusches durch den Menschen untersucht.

1.2. Energie und Information

Der folgende kleine Exkurs zeigt, daß eine Gegenüberstellung der beiden Begriffe Energie und Information, wie sie hier bezüglich eines Schallereignisses erforderlich wurde, in der Literatur in anderen Zusammenhängen bereits an verschiedenen Stellen zu finden ist:

Schon Wiener /165/ grenzt Information und Energie gegeneinander ab: "Information ist Information, weder Materie noch Energie. Kein Materialismus, der dieses nicht berücksichtigt, kann den heutigen Tag überleben". (1948)

Stachowiak /138/ bezeichnet Energie und Information als zwei "begriffliche Ordnungsschemata von außerordentlich weittragender wissenschaftlicher Bedeutung".
Energiebetrachtungen sind die wesentlichen Grundlagen aller physikalischen Gesetze und kennzeichnen die "Struktur der physischen Welt als Ganzes".
Dagegen stellt Stachowiak seinen Informationsbegriff:
"Von ähnlicher, ja vielleicht noch weitreichender Allgemeinheit ist der Begriff der Information. Er gestattet, grundsätzlich alles quantitativ zu erfassen, was überhaupt durch Nachrichten übertragen wird".

Nach Marko /102/ sind Energie und Information zwei "Zustandsgrößen, die sich von allen anderen durch ihre universelle Bedeutung in der physikalischen Welt hervorheben".

Demnach versteht Marko Information durchaus als physikalischen Begriff, wogegen dieser hier (in 1.1.) gerade von dem physikalischen Begriff Energie abgegrenzt wurde. Dies bedarf einer Klärung:
Wie in 2.1. noch ausführlich erläutert wird, erlaubt die Informationstheorie von Shannon (1948) für einen Teilaspekt des Informationsbegriffes eine quantitative Beschreibung.
Die o.g. Aussage von Stachowisk ("grundsätzlich alles..") wird hier insoweit bewußt eingeschränkt;

sie bedarf mindestens einer weiteren Diskussion (2.1.).
Das Shannon'sche Informationsmaß beschreibt die Ordnung einer Struktur oder den Neuigkeitswert eines Zeichens oder einer Nachricht. Damit ist es möglich, den Informationsgehalt einfacher, normierter Nachrichten zu errechnen.

Geht man nun, wie z.B. Steinbuch /141/ , von einem weiter gefaßten Physikbegriff aus, der"den gesamten Bereich der exakten, im Prinzip quantifizierbaren Naturwissenschaften" umfaßt, dann wird die Zuordnung des quantifizierbaren Informationsaspektes zur "physikalischen Welt" klar.

Marko /102/ schließt darin auch ausdrücklich die "geistige Welt, soweit sie quantifizierbar ist" ein.

V. Cube /23/ schließlich formuliert die (unbewiesene) Vermutung, daß Information eine dritte Seinsart neben den traditionellen Kategorien Materie/Energie und Geist/Bewußtsein darstellt. Er verweist dazu auf eine umfangreiche Literatur zum Thema "Kybernetik und Philosophie". Zugleich warnt er aber davor, um diese neue Kategorie eine Denkungsart ähnlich einem primitiven Materialismus aufzubauen.

Weizsäcker formuliert noch weitergehend, daß Bewußtsein und Materie verschiedene Aspekte derselben Wirklichkeit sind /158/.

Eine ähnliche Kategorieeinteilung nimmt auch Keidel /83/ vor, wenn er drei "völlig voneinander verschiedene Grundfunktionen der Physiologie der Sinne und der Sinnesempfindungen" unterscheidet:

1. Energietransformation
2. Informationsverarbeitung
3. Bewußtseinsinhalte.

Marko /102/ berechnet anhand einer thermodynamischen und einer quantenmechanischen Überlegung, wieviel Energie für die Übertragung einer bestimmten Informationsmenge mindestens notwendig ist. ($1{,}59 \cdot 10^{-34} Ws^2$/bit für $T=0^0K$; $3 \cdot 10^{-21} Ws^2$/bit für $T=300^0K$)

Obwohl Energie als Fähigkeit Arbeit zu leisten und Information als Ordnung einer Struktur wesens-

verschiedene Begriffe sind, sind sie doch miteinander verknüpft:
Eine Übertragung von Information ist ohne Energieaufwand nicht möglich.

1.3. Gesetzmäßigkeiten zwischen biologischen und physikalischen Größen

Die in 1.1. zuletzt genannte Aufgabe, die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen der Information eines Geräusches und dessen Bewertung durch den Menschen, läßt sich wie in Abb. 1 gezeigt schematisch darstellen.

Der Schall wird durch die Parameter Energie und Information ausreichend beschrieben. Unter Berücksichtigung der Abgrenzungen in 1.2. können die Eingangsgrößen als physikalische Größen angesehen werden.
Auf der Ausgangsseite steht eine Empfindung, ein Lärmerlebnis, z.B. das Gefühl belästigt oder gestört zu werden. Dies soll als biologische Größe bezeichnet werden.
Wieweit diese biologische Größe dann doch durch physikalisch meßbare Sekundärreaktionen erfaßbar ist, wird in 3.3.1. diskutiert.

Ziel einer Untersuchung dieser Art ist also die experimentelle und/oder theoretische Ermittlung von Gesetzmäßigkeiten zwischen biologischen und physikalischen Größen.

Nicht zuletzt wegen der Auswahl geeigneter Untersuchungsmethoden ist die Frage von Bedeutung, welche Fachdisziplin für eine solche Untersuchung zuständig ist.

Jansen /74/ stellt fest, daß die Lärmforschung auf Interdisziplinarität ausgerichtet ist, schwerpunktmäßig auf das Zusammenwirken medizinischer Fächer mit außermedizinischen Fächern, insbesondere der Psychologie und den Sozialwissenschaften.

Obgleich vom Untersuchungsobjekt (Mensch) her die Fragestellung im Bereich der Physiologie und der Psychologie liegt, ist sie doch, wie im folgenden dargestellt wird, typisch geeignet für eine neue Disziplin, die Kybernetik.
In der entsprechenden Literatur gibt es allerdings ziemlich unterschiedliche Auffassungen verschiedener Autoren darüber, was Kybernetik ist und was damit erreicht werden kann.
Deshalb wird im folgenden Kapitel ein ausführlicher Exkurs über das Wesen, die Möglichkeiten und die Grenzen einer kybernetischen Betrachtungsweise eingeführt.

1.4. Kybernetik

Als Begründer der Kybernetik gilt Norbert Wiener; seine Definition lautet /65/:
"Kybernetik ist die Theorie oder Technik der Nachrichten, des Nachrichtenumsatzes oder der diesen leistenden Systeme".
Sein Buch "Kybernetik" /65/ trägt den Untertitel "Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine".
Damit wird das Wesentliche der meisten anderen Definitionen bereits angedeutet:

1. Die Regelungstechnik und die "Theorie der Funktionsmöglichkeiten informationeller Systeme" (Frank,1964, in /23/), speziell die Informationstheorie, bilden die zwei wesentlichen Pfeiler der Kybernetik (/165/;Frank,1964, in /23/; Steinbuch, 1962, in /23/, in /27). Einige Autoren beschränken ihre Definitionen entweder auf die Regelungstechnik oder auf die informationellen Systeme (Wieser,1959, in /23/; Frank, in /27/, /102/; /4/),andere ziehen weitere spezielle formale Theorien hinzu: Netzwerktheorie, Funktionentheorie, Statistik, Wahrscheinlichkeitsrechnung, (Steinbuch, in /23/).
Systemtheorie, Entscheidungstheorie, Strategietheorie, (Haseloff, in /27/).
Spieltheorie, Algorithmentheorie, /86/ und Automatentheorie /4/ .

2. Der wesentliche Vorteil einer kybernetischen Betrachtung liegt in der Abstraktion, im Erkennen allgemeiner Strukturen in den verschiedenartigsten Erscheinungen.

Damit ist die Kybernetik in vielen Fachgebieten anwendbar und kann entfernte Fachgebiete durch gemeinsame Denkmodelle näherbringen. (/86/; Poletajew, in /23/; Steinbuch, 1962, 1965, in /23; Hassenstein, 1965, in /23/; Haseloff, in /27/).

Wiener /165/ verglich allgemein Regelung und Nachrichtenverarbeitung im Lebewesen und in der Maschine.

Inzwischen gibt es spezielle Anwendungen dieser Denkungsart z.B. in den Bereichen Psychologie (speziell Lerntheorien), Physiologie, Soziologie, Ökonomie, Philosophie, Pädagogik, Linguistik, Automatisierungstechnik etc.
So ist auch einigen Autoren der hier abgesteckte Definitionsrahmen zu eng.
Z.B. definiert Klaus (in /23/) Kybernetik als "Wissenschaft von den möglichen Verhaltensweisen möglicher Strukturen, die in zeitabhängige Prozesse eingebettet sind".
Dies schließt ausdrücklich auch solche Strukturen ein, die bisher noch nicht realisiert sind.

Eine allgemein anerkannte Definition der Kybernetik gibt es bis heute noch nicht (/23/, 1967).

Eine neuere Definition kommt von Marko (103/, 1974) als Präsident der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik (DGK):
"Kybernetik wird im Sinne der DKG als eine exakte naturwissenschaftliche Methodik verstanden, die die Methoden der Nachrichten- und Regelungstheorie in anderen Bereichen wie der Biologie oder Soziologie anwendet".
Sie ist zur Beschreibung hochkomplexer Strukturen, wie sie in der Biologie vorkommen, besonders gut geeignet /103/ .

Ein kybernetisches Konzept zur Darstellung von Zusammenhängen zwischen physikalischen und biologischen Größen, speziell geistigen Funktionen und psychischen Erlebnissen, bietet Steinbuch /141/ an:
Der klassische Gegensatz zwischen meßbaren, reproduzierbaren wissenschaftlichen Erfahrungen einerseits und nur subjektiv erfahrbaren und beschreibbaren psychischen Erlebnissen andererseits, letztlich der Gegensatz zwischen Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft, ließe sich durch eine neue Wissenschaft überwinden, die menschliches Denken und Verhalten auf die Wirkung informationeller Strukturen zurückführt.
Diese (zukünftige) Denkweise nennt Steinbuch "kybernetische Anthropologie".
Deren Grundgedanke ist, daß geistige Funktionen aus Aufnahme, Verarbeitung, Speicherung und Abgabe von Informationen bestehen. Sie lassen sich dann wahrscheinlich im Rahmen der Physik (vg. 1.2.) erklären.
Speziell für psychische Erlebnisse folgert Steinbuch:
"Jedes subjektive Erlebnis entspricht einer physikalisch beschreibbaren Situation des Organismus, vor allem des Nervensystems, z.T. auch der humoral usw. wirkenden Organe".
Es wird dann eingeschränkt, daß die Gesetzmässigkeiten dieser Zuordnung noch unbekannt sind.

Zwei methodische Grundsätze hält Steinbuch schließlich für das Vorgehen der Kybernetik für wichtig:

1. alle nicht in der physikalischen Erfahrungswelt abbildbaren Denkmodelle zu eliminieren und
2. die verwendeten Denkmodelle mit Hilfe der Mathematik zu beschreiben und zusammenzufügen.

Weizsäcker /159/ formuliert in einem Vortrag einen ähnlichen Gedanken: "Die Physikalisierbarkeit im Seelischen ist nichts entscheidend anderes als die wissenschaftliche Beschreibbarkeit".

Die Fragestellung dieser Untersuchung scheint im Prinzip dem kybernetischen Konzept zu entsprechen, da die "Entscheidung" des Individuums, ob ein Schall als Lärm empfunden wird, als Ergebnis einer Informationsverarbeitung irgendwelcher Art anzusehen ist. Die in Abb. 1 vorgestellte "black-box" enthält also irgendein IVS (informationsverarbeitendes System) und ist somit nach den

vorstehenden Abgrenzungen mögliches Objekt einer kybernetischen Betrachtung.

Ein weiterer wichtiger Aspekt kommt hinzu, wenn diese black-box nicht isoliert, sondern in einem Mensch-Umwelt-System betrachtet wird. Ein solches System wird von Stachowiak /138/ ausführlich aus kybernetischer Sicht untersucht (Abb. 2).

Der wesentliche Unterschied zu der isolierten black-box besteht darin, daß diese ein offenes Obertragungsglied darstellt, während das System Mensch-Umwelt eine geschlossene Schleifenstruktur besitzt.

Stachowiak beschreibt dieses System weiter: "Die Funktionsweise des System Mensch-Außenwelt ist der Funktionsweise eines (technisch-) kybernetischen Systems vergleichbar, dessen Glieder in einer bestimmten irreversiblen Verlaufsrichtung derart aufeinander regulierend wirken, daß dieses betreffende System ohne Steuerung (von außen) die effektiven mit den angestrebten Funktionen zu möglichst weitgehender Obereinstimmung bringt".

Damit wird auch das Element der Regelung als wichtigstes Merkmal eines kybernetischen Systems in die vorliegende Fragestellung hineingebracht. Ähnlich versucht Schönpflug /130/ mit einem speziellen Mensch Umwelt-System die Phämomenologie des menschlichen Lärmverhaltens zu erklären (Abb.3).

Die Rückkopplung bedeutet in diesem Modell nicht die Rückwirkung der Aktionen über die Umwelt auf die "Eingabe - diese Rückwirkung müßte (für ein vollständiges System Mensch-Umwelt) zusätzlich über ein eigenes Obertragungsglied "Umwelt eingezeichnet werden. So wie hier dar-

gestellt, bedeutet "Rückkopplung" die im menschlichen Organismus ebenfalls vorhandene direkte Rückmeldung der Aktionen, die gerade durchgeführt werden.

Schönpflug /130/ geht davon aus, daß der Mensch ein gewisses Maß - individuell und situationsbedingt verschieden - an Schallreizung für ein "optimales Umweltklima" benötigt.
Eine Regulation dient dazu, diesen Zustand unter wechselnden Umweltbedingungen beizubehalten, d.h. zu viel Schall abzuwehren und ebenso einen Zustand mit zuwenig Schallreizung zu meiden (Schallappetenz).
Schönpflug unterscheidet zwischen einer inneren und einer äußeren Regulation.
Die innere Regulation beschränkt sich auf Prozesse, die innerhalb des Organismus ablaufen: Blockierung der Aufnahme oder der Verarbeitung oder Neubewertung störender Reize.
Die äußere Regulation geschieht durch gezielte Aktionen auf die Umwelt im Sinne einer Verminderung oder auch Verstärkung der Schallreize.

Solche Regulationsvorgänge sind einer kybernetischen Betrachtung dann zugänglich, wenn es gelingt, quantitative Maßstäbe einzuführen.

Eine Erweiterung des offenen Übertragungsgliedes Schall- Lärmempfindung zu einem geschlossenen System Mensch- Umwelt erhöht zwar die Komplexität des zu untersuchenden Systems, gibt aber zugleich einen interessanten Einblick in die möglichen Regulationsvorgänge und vergrößert die Anwendungsmöglichkeiten einer kybernetischen Betrachtungsweise.

Die von Schönpflug /130/ postulierte Regelung zur Konstanthaltung eines bestimmten optimalen inneren Milieus (Homöostase) kann als eine sehr typische Verhaltensweise biologischer Systeme angesehen werden. Sie findet sich nicht nur bei schwer zu erfassenden Phänomenen, wie einem "optimalen Reizklima", sondern auch bei leicht meßbaren physiologi-

schen Größen wie Blutdruck, Körpertemperatur, elektrischer Hautwiderstand und vielen anderen.

Eine ausführliche Beschreibung des dynamischen Verhaltens solcher Reaktionen findet sich bei Drischel /28/; als Parameter, die sich in dieser Art verhalten, werden von ihm z.B. untersucht: Urinmenge und dessen spezifisches Gewicht, Blutzuckergehalt, pH- Wert des Blutes, Blutdruck, aber auch Parameter, die mit der Reaktionsfähigkeit von Nervenleitungen zusammenhängen und elementare Prozesse an der einzelnen Zelle.
Ein Beispiel aus dem psychologischen Bereich beschreibt Rohracher /23/: die Erlebnisse zu Wiederherstellung des Selbstgefühls nach einer Frustration.

Drischel zitiert den französischen Mathematiker Couffignal (1961;/28/), der das allgemeine Verhalten eines Lebewesens unter dem Einfluß eines plötzlich einsetzenden Reizes (Sprungfunktion) mit einem typischen, aperiodischen Reaktionsverlauf beschrieb, den er "Courbe Universelle" nannte. Sein typisches Beispiel:
Ein beginnender Ausverkauf in einem Pariser Schuhgeschäft als psychologischer Stimulus, die Anzahl der verkauften Schuhe für jeden Tag als Reaktionsverlauf. Es ergab sich der in Abb. 4 dargestellte Verlauf.

Wegen der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Kybernetik haben sich innerhalb dieser Disziplin bereits wieder verschiedene Fachgebiete ausgebildet. Zwei davon sind hier von besonderem Interesse: die Biokybernetik und die Bionik.
Die vorhandenen Definitionen /103/; /169/; /152/; /31/ lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Biokybernetik ist die Analyse biologischer Systeme unter Verwendung kybernetischer Methoden;
- Bionik ist die Synthese technischer Systeme unter Verwendung der Erkenntnisse aus biolo-

gischen Strukturen, Funktionen und Organisationsformen.

Die zu untersuchende Fragestellung wäre demnach der Biokybernetik zuzuordnen.
Um mehr über das Wesen der kybernetischen Betrachtung zu erfahren ist zunächst nach Gemeinsamkeiten der beiden für die Kybernetik fundamentalen Begriffe Regelung und Information zu suchen.

V. Cube /23/ stellt fest, daß beide Begriffe Strukturen charakterisieren, die in vielfältiger Weise realisiert sind.
Er definiert Struktur, ähnlich wie Klaus /86/, als "Beziehungsnetz zwischen den Elementen eines Systems" und nennt die "Realisation einer Struktur" ein Modell.

Das Wesen der Kybernetik wäre demnach die Erforschung, mathematische Darstellung und Anwendung von Strukturen, um allgemeine Funktions- und Verhaltensmodelle zu erarbeiten.
Dies faßt v. Cube /23/ in einer Definition zusammen:
"Die Kybernetik untersucht isomorphe Modelle in verschiedenen Wirklichkeitsbereichen".

Der Modellbegriff scheint ein zentraler Begriff der Kybernetik zu sein, der ihr Wesen vielleicht am besten beschreibt.
Die Kybernetik versucht nicht, die "Wirklichkeit" (= das zu untersuchende System) darzustellen; dies wäre auch, wie Steinbuch /141/ am Beispiel des menschlichen Gehirns zeigt, vielfach wegen der Komplexität der realen Systeme unmöglich.
Sie beschreibt vielmehr aus bekannten Strukturen realisierte Modelle, die die Wirklichkeit möglichst genau abbilden, d.h. das Verhalten des speziellen zu untersuchenden Teils der Wirklichkeit möglichst genau darstellen. Darin, daß diese Modelle sich aus abstrakten, allgemeingültigen Strukturen zusammensetzen, liegt der interdisziplinäre

Charakter der Kybernetik.

Nach diesen Oberlegungen läßt sich über Möglichkeiten und Grenzen einer kybernetischen Betrachtung diskutieren:
Hassenstein /55/; in /23/ formuliert drei Kriterien, bei deren Erfüllung eine kybernetische Betrachtung physiologischer Vorgänge sinnvoll ist:

1. Wenn bestimmte Regelkreise im Organismus funktionell bedeutsame Eigenschaften besitzen, die nur mit kybernetischen und nicht mit physiologischen Methoden und Begriffen zu untersuchen bzw. zu verstehen sind;
2. Wenn bekannte Eigenschaften der Nervenleitung nur mit Hilfe von informationstheoretischen Gedankengängen vollständig begreiflich zu machen sind;
3. Wenn es im Organismus Vorgänge gibt, die durch mathematische Operationen und nicht durch stoffliche oder energetische Leistungen ihre Funktion im Organismus erfüllen, und die Erforschung dieser Prozesse spezielle kybernetische Arbeitsmethoden verlangt.

Mit einer regelungstechnischen Analyse der Pupillenreaktion, einer informationstheoretischen Betrachtung der Nervenleitung und der Darstellung der Verarbeitung visuell aufgenommener Daten in einem Käfer, zeigt Hassenstein /54/ Beispiele für diese drei Kriterien auf.

Ein kybernetisches Konzept in der Biologie und der Medizin ist nach Drischel /28/ dann sinnvoll, wenn

1. nach "klassischer" Methodik sich bestimmte Fragestellungen nicht lösen lassen;
2. der kybernetische Ansatz quantitative Aussagen und Vorhersagen des untersuchten Vorganges ermöglicht.

Gauer /49/ hält begriffliche Klärungen und quantitative Auswertungen der Nachrichtenverarbeitung im Organismus für die wertvollsten Leistungen der Kybernetik in der theoretischen Sinnesphysiologie.

Den Wert kybernetischer Begriffe besonders für die Verhaltensforschung betont Ewald /32/. Auch mit kybernetisch-technischen Modellen (z.B. Shannon'sche Maus) wurden in dieser Disziplin Erkenntnisse gewonnen.

Zemanek /27/ sieht den größeren Vorteil in einer gemeinsamen Sprache für viele Disziplinen, die zu einem interdisziplinären Austausch von Vokabeln Gedanken, Strukturen und Modellen führen kann. In ersten Linie, so Zemanek, habe das allerdings bisher zu einem "Export technischer Strukturen" geführt, weit weniger in der umgekehrten Richtung.

Kybernetische Analysen ermöglichen auch den Vergleich biologischer und technischer Systeme. Einen solchen Vergleich führt v. Seelen /136/ für das optische Detektionssystem des Menschen gegen ein "optimales" technisches System durch.
Eine solche Untersuchung kann nach v. Seelen zwei Zielsetzungen haben:
1. Bestimmung der Leistungsfähigkeit biologischer Systeme;
2. Prüfung von Verfahren zur Analyse biologischer Systeme.

Steinbuch /27/ hält technische Modelle zur Beschreibung hochkomplexer Systeme für notwendig wegen des geringen Bewußtseinsumfanges des Menschen, mindestens aber für ökonomischer.
Solche Systeme können z.B. biologische Systeme sein, aber auch das Weltgeschehen kann Objekt einer kybernetischen Betrachtung am Modell sein. Dies wurde in einem ersten Versuch vom Club of Rome durchgeführt /104/. Gerade in diesem Fall ist die Notwendigkeit eines solchen Verfahrens durch die hohe Komplexität des Geschehens gegeben, die das menschliche Bewußtsein überfordert /142/.

An anderer Stelle /140/ stellte Steinbuch die Prognose auf, daß Psychologie, Verhaltensforschung und Kybernetik zu einer kohärenten Wissenschaft zusammenwachsen werden.

Weizsäcker sieht die philosophische Frage nach dem Wert der Kybernetik in der Frage nach dem Wahrheitsgehalt mathematischer Modelle für die funktionalen Zusammenhänge im Organismus /160/. Eine Grenze für die Tragweite solcher kybernetischen Modelle sei nicht zu erkennen. Für Bedenken gegen einen "Physikalismus" in Bezug auf die Betrachtung des organischen Lebens sieht Weizsäcker keinen Anlaß.

Die Beispiele, Kriterien und Meinungen lassen vermuten, daß die kybernetische Denkweise in vielen Disziplinen, besonders in der Biologie, einen festen Platz erhalten wird. Dies gilt dann sicher auch für den Bereich der Sinnes-

physiologie, die Aufnahme und Verarbeitung von Nachrichten aus der Umwelt durch den Menschen behandelt.
Nach den vielversprechenden Möglichkeiten seien im folgenden auch die Grenzen kybernetischer Betrachtungsweise diskutiert.

Als Grenze kann, wie v. Cube /23/ ausführlich darstellt, nicht eine Beschränkung der Weiterentwicklung kybernetischer Theorien und Begriffsbildungen verstanden werden, sondern nur eine Abgrenzung gegen andere Forschungsbereiche. D.h., der Bereich der Kybernetik kann nicht "als Ganzes überblickbar" sein, er läßt sich in seinen Definitionen und Methoden aber gut von anderen Bereichen abgrenzen.

V. Cube warnt davor, die Kybernetik zu einer Über-Wissenschaft oder einer Weltanschauung zu ernennen, die er als "Kybernetismus" bezeichnet. Dies sei mit einem primitiven Materialismus vergleichbar, bei dem die historische Dimension Masse bwz. Energie um die "kybernetische" Dimension Information erweitert scheint.
Er fordert daher als zusätzliches Kriterium die technische Realisierbarkeit kybernetischer Systeme (im Gegensatz z.B. zu Klaus /86/).

Die so verstandene Grenze der Kybernetik liegt dann, nach v. Cube, in der Abstraktion. Kybernetische Methoden lassen "in ganz bestimmter Weise" Erkenntnisse gewinnen.
"In der bestimmten Weise liegt dabei die Grenze der Kybernetik; eine Grenze, die jedes Verfahren der Erkenntnisgewinnung mit sich bringt".
Diese Grenze der Kybernetik läßt sich auch so formulieren:
Die Kybernetik ist nur eine von vielen möglichen Methoden, zu einer Erkenntnis zu gelangen.

Die Kybernetik beschreibt einen Tatbestand anhand eines geeigneten Modells. Die Beschreibung ist umso genauer, je besser das Modell den Tatbestand wiedergibt. Stimmt jedoch das Modellverhalten und der Tatbestand überein, dann ist das "Modell" kein Modell mehr, sondern eine Nachbildung oder eine Kopie des untersuchten Systems (vgl. /142/). Die Betrachtung ist dann nicht mehr kybernetisch, d.h. abstrakt an Struk-

turen, sondern am konkreten Fall, also z.B. physiologisch.
Der Vorteil größerer Ökonomie wäre verloren; nach den Kriterien von Hassenstein /55/ und Drischel /28/ s.o., wäre dann eine kybernetische Betrachtung nicht sinnvoll.
Diese Grenze der Kybernetik läßt sich durch den Abbildungsfehler des Modells ausdrücken; er muß definitionsgemäß größer als Null sein.

Diese notwendigerweise vorhandene Vereinfachung kann stets aus irgendeiner Betrachtungsrichtung als Simplifikation abgewertet werden /142/.
Auch kann ein Tatbestand immer durch mehrere Modelle beschrieben werden, die aus verschiedenen Betrachtungsrichtungen optimale Näherungen darstellen.
Die Verwendung falscher oder einseitiger Denkmodelle ist nach Steinbuch /142/ eine Grundlage der Manipulation; dies gilt z.B. besonders für gesellschaftswissenschaftliche Denkmodelle.

Welches Denkmodell im speziellen Fall "richtig" und brauchbar ist, muß von Fall zu Fall entschieden werden und ist eine zentrale Frage der Erkenntnistheorie.

An einem Beispiel soll die Grenze der Kybernetik als systembeschriebende Wissenschaft dargestellt und zugleich die Unbrauchbarkeit einer Weltanschauung "Kybernetismus" gezeigt werden:

Die Kybernetik gilt als "Technik des Lebendigen" /23/, da es ihr oft gelungen ist, biologische Systeme zu beschreiben. Sie kann aber einen Tatbestand nicht beschreiben, der nach v. Cube /23/ charakteristisch für das Lebendige ist:
das Aufstellen von Zielen.
Dies ist kein rationaler, sondern ein emotionaler Vorgang,/23/ (u.a.),den eine kybernetische Maschine nicht durchführen könnte; sie kann nur

bereits gesetzte Ziele erreichen und diesen Zustand beibehalten.
Auf bereits angesprochene Probleme angewandt, würde das bedeuten:
Ein kybernetisches Modell, etwa im Sinne von Meadows /104/ ist außerstande, Wertsysteme oder Ideologien* aufzustellen.
Dies begründet Lembach /142/ durch eine "Aporie ideologischer System":
"Nur wenn es (das ideologische System) als Wahrheit auftritt und anerkannt wird, kann es seine Aufgabe erfüllen; als das erkannt, was es ist, nämlich als Instrument, verliert es seine Wirkung".
Das heißt, ein Wertsystem kann nicht rational hinterfragt werden, weil es emotionale Ursprünge hat, es darf nicht rationell hinterfragt werden, weil es dann seine Wirkung verliert.
Eine Gesellschaft ohne Ideologie (im Sinne von Wertsystem) ist aber nach Steinbuch /142/ nicht lebensfähig.
Ohne eine rationale Analyse von Wertsystemen ist demnach auch eine kybernetische Modelldarstellung eines Gesellschaftssystems unmöglich, da (in Sinne von Steinbuch) das Wechselspiel von Wertsystem und Gesellschaft einbezogen werden müßte. In einem entsprechenden Modell können also Wertsysteme nur vorgegeben werden (so geschehen bei Meadows /104/); sie gehen dann in den dynamischen Handlungsablauf nur als starre, unveränderliche Größen ein. Dies ist aber eine schlechte Annäherung der Wirklichkeit, da auch Wertsysteme unter bestimmten Umständen mit der Zeit veränderlich sind.

---

* Der Begriff Ideologie wird in der Literatur verschieden gesehen, insbesondere bestehen wesentliche Unterschiede zwischen den Auffassungen von v. Cube und von Steinbuch:
V. Cube versteht (in Obereinstimmung mit Max Weber und Theodor Geiger) Ideologie im Gegensatz zu Wissenschaft als System unzuverlässiger theoretischer Aussage, die die objektive Erkenntniswirklichkeit überschreitet.
Steinbuch /142/ sieht Ideologie (etwa wie /36/) weitgefaßter "im Sinne der Bewertungen, Ziele und Vorurteile, welche das Denken und Verhalten eines Menschen oder einer Gesellschaft bestimmen".
Hier wird der Ideologiebegriff im Sinne Steinbuchs verwendet.

Die Kybernetik kann also einen dynamischen Ablauf bei gegebener Zielsetzung darstellen, sie kann die Funktion eines Lotsen beschreiben, nicht aber die Funktion eines Kapitäns.
Dies stimmt mit dem griechischen Ursprung des Wortes Kybernetik (κυβερνήτης = Lotse) überein.

Als Grenzen der Kybernetik werden zusammenfassend erkannt:

1. Die Kybernetik ist nur eine von vielen Möglichkeiten, zu einer Erkenntnis zu gelangen;
2. die Abstraktion bewirkt, daß ein kybernetisches Modell notwendig eine gewisse Abbildungsungenauigkeit gegenüber dem realen System besitzt;
3. die Kybernetik kann nur rationale Vorgänge beschreiben.

2. Information

2.1. Begriffsbestimmung

Der Begriff Information erschien in unterschiedlichen Zusammenhängen und unter verschiedenen Aspekten betrachtet durch das gesamte einleitende Kapitel:
In 1.1. wurde Information als Oberbegriff für die wesentlichen Lärmkriterien vermutet;
in 1.2. wurde Information als fundamentale Zustandsgröße dem Begriff Energie gegenübergestellt, und
in 1.4. erwies sich Information als zentraler Begriff der Kybernetik.
In diesem Kapitel soll der Begriff Information nun genauer beschrieben, definiert, abgegrenzt und- soweit möglich - quantifiziert werden. Im zweiten Teil (2.2.) werden dann einige Anwendungen dieses genauer bestimmten Informationsbegriffs diskutiert.

Im umgangssprachlichen Sinn meint Information etwa Inhalt und Bedeutung einer Nachricht. Dabei enthält eine Nachricht, die der Empfänger bereits kennt oder erwartet, für ihn weniger Information, als eine unerwartete, unbekannte Nachricht, eine wahrscheinliche Nachricht weniger als eine unwahrscheinliche Nachricht.
Die Menge an Information, die eine Nachricht enthält, ist also bestimmt durch die Unkenntnis oder die Unsicherheit des Empfängers über den Inhalt der Nachricht. Daraus folgt:
Information, im umgangssprachlichen Sinn,
- beseitigt oder reduziert eine gewisse Unkenntnis oder Unsicherheit des Empfängers /5/; /24/; /23/; /56/,

- ist also " der mit der Unwahrscheinlichkeit wachsende Neuigkeitswert einer Nachricht für einen Empfänger /138/; vgl. /102/; /32/,
- ist somit eine subjektive Größe, da sie außer vom Inhalt der Nachricht auch vom Kenntnisstand des Empfängers abhängt.

David Hume (ca 1750) /67/ stellte bereits fest, daß die Erwartung eines Ereignisses mit seiner Wahrscheinlichkeit steigt; dies ist mit der o.g. Aussage sinngleich, daß der Neuigkeitswert einer Nachricht (Ereignis) mit deren (dessen) Unwahrscheinlichkeit steigt.
Attneave /5/ spricht auch von einem Oberraschungswert.

Dieser umgangssprachliche Informationsbegriff ist aber in seiner Gesamtheit noch nicht quantitativ auszudrücken.

Davon zu unterscheiden ist ein von Shannon (1948) entwickelter mathematischer Informationsbegriff, auf dem die Informationstheorie aufgebaut ist (ausf. in 2.1.1.).
Shannon greift den Wahrscheinlichkeitsbegriff heraus, der rechnerisch zu erfassen ist und definiert einen Zusammenhang zwischen dem Informationsgehalt eines Zeichens bzw. einer Nachricht und der Unwahrscheinlichkeit seines/ihres Auftretens. Information wird damit losgelöst von der Bedeutung eines Zeichens oder einer Nachricht, zu einem reinen Strukturbegriff. Sie ist dann nur noch Beschreibung einer "räumlichen oder zeitlichen Folge von endlich vielen physikalischen Signalen, die mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten oder Häufigkeiten auftreten" /24/; /23/.
Dieser Informationsbegriff ist mathematisch erfaßbar (vgl. 2.1.1.). Seine Abstraktion (= Lösung von Inhalt und Bedeutung der Nachricht) führt zu Anwendungsmöglichkeiten in verschiedenen Wirklichkeitsbereichen /24/; /23/. Dies er-

innert an das Wesen der Kybernetik (vgl. 1.4.) und es wird klar, wieso gerade dieser Informationsbegriff in der Kybernetik eine so zentrale Rolle übernimmt.

Um den Unterschied zwischen den beiden Informationsbegriffen systematisch darzustellen, empfiehlt es sich, zunächst den Begriff Information in verschiedene Bereiche einzuteilen. Dies wird in der Literatur recht unterschiedlich durchgeführt, sodaß hier nur eine Zusammenfassung in Form einer eigenen Definitionsfestsetzung versucht werden kann:

Zunächst ist allgemein zwischen objektiver und subjektiver Information zu unterscheiden (z.B. /138/; /24/).

Die objektive Information einer Nachricht ist vom Empfänger (nicht vom Sender!) unabhängig; sie berücksichtigt nicht die Beziehung zwischen Empfänder und Nachricht, d.h. daß bestimmte Nachrichten für bestimmte Empfänger ganz besondere Bedeutung haben können.

Die subjektive Information ist der gesamte Informationsgehalt einer Nachricht für einen bestimmten Empfänger.

Die objektive Information soll unterteilt werden in eine

- syntaktische Komponente; diese ist ein Maß für die Struktur der Nachricht, losgelöst von deren Inhalt und Bedeutung.
  Sie gibt nur Auskunft über das räumliche und/ oder zeitliche Muster der Zeichen und wird von manchen Autoren auch als statistische /94/ oder selektive /110/;/106/ Information bezeichnet /132/;/161/.

- semantische Komponente; diese ist die allgemeine Bedeutung, die ein Zeichen trägt oder eine Nachricht enthält. /132/; /161/.

Stachowiak /13/ formuliert eine Abhängigkeit der objektiven Information vom Sender für die semantisch Komponente, indem er eine "vom Perzipienten tatsächlich empfangene subjektive (semantische) Information" einer "vom Expedienten gesendeten objektiven (semantischen) Information" gegenüberstellt.
Eine solche Abhängigkeit wird in der Informationstheorie (vgl. 2.1.1) auch für die syntaktische Komponente festgestellt und als Repertoire bezeichnet.

Die subjektive Information soll den gesamten Informationsgehalt einer Nachricht für einen bestimmten Empfänger enthalten. Dabei ist aber anzumerken, daß auch sie

- eine syntaktische Komponente enthalten muß, die aber nicht typisch für sie ist; ohne diese syntaktische Komponente ist eine Infomation nicht mitteilbar /2/; /38/.
- eine semantische Komponente, ebenfalls nicht typisch, enthalten kann.

Die subjektive Information wird von verschiedenen Autoren auch pragmatische Information genannt. /132/; /38/; /110/; /48/; /161/.

Dies steht allerdings nicht im Einklang mit der Terminologie der Sprachphilosophie, die als pragmatische Dimension eines Sprachzeichens, die Beziehung dieses Zeichens zum Sprecher, also zum Sender, sieht /36/.

Nach dieser Unterteilung des Informationsbegriffes kann festgestellt werden, daß der umgangssprachliche Informationsbegriff etwa mit der subjektiven Information übereinstimmt, der mathematische Informationsbegriff dagegen nur die syntaktische Komponente der Information beschreibt. Unter bestimmten Umständen (z.B. Sprache: Häufigkeit/Wahrscheinlichkeit der einzelnen Wörter) lassen sich auch semantische Komponenten durch den mathematischen Informationsbegriff ausdrücken (vgl. 2.1.1.2.).

Das bedeutet aber, daß die entscheidende, empfängerbezogene, inhaltliche Komponente der pragmatischen Information durch den mathematischen Informationsbegriff nicht erfaßt wird. Dieser Umstand ist für die praktische Anwendbarkeit des mathematischen Informationsbegriffes von großer Wichtigkeit, da er seine Anwendungsmöglichkeiten für Fragestellungen mit überwiegend subjektiver Information infrage stellt oder zumindet einschränkt.

Dies bemerkte Haseloff und forderte auf den Starnberger Gesprächen 1968 /27/ ein neues Konzept der Information, ebenso Gäng bereits 1967 /48/, der auch ein eigenes Konzept anbietet (vgl. 2.1.2.).
Steinbuch /27/ schlägt einen neuen quantifizierbaren Informationsbegriff vor, der davon ausgeht, daß "Information zweckmäßige Entscheidungen ermöglicht".
Die Schwierigkeit dabei liegt eben in der mathematischen Formulierung.

Nach dieser Obersicht werden im folgenden die einzelnen Komponenten der Information ausführlich diskutiert.

2.1.1. Objektive Information

2.1.1.1. Die syntaktische Komponente

Um ein mathematisches Maß für die syntaktische Information zu formulieren ist es zweckmäßig, zunächst eine Grundeinheit der Information zu definieren. Dies sollte eine möglichst kleine Informationsmenge sein.

Ausgehend von einer Definition Wieners /165/

"eine ihrer (Anm.: der Information) einfachsten, geläufigsten Formen ist die Registrierung einer Auswahl zwischen zwei gleichwahrscheinlichen*, einfachen Alternativen, von denen die eine oder die andere eintreten muß ....; eine Auswahl dieser Art wollen wir Entscheidung nennen"

soll die Information einer Entscheidung zwischen zwei gleichwahrscheinlichen, einfachen Alternativen mit der Informationsmenge 1 bit (binary Digit) gleichgesetzt werden.

Dies ist z.B. die Information der Antwort auf eine Frage, die gleichwahrscheinlich nur mit ja oder nein beantwortet werden kann.

Stehen mehr als zwei gleichwahrscheinliche Alternativen zur Auswahl, so lassen sich diese, z.B., nach der Methode des Code-Baumes /163/; /164/; /24/; /23/, auf eine Anzahl von Elementarentscheidungen im Sinne Wieners /165/ zurückführen. Die Anzahl ist dann nach der o.g. Einheitsdefinition gleich der Informationsmenge in bit.

Dieser Vorgang entspricht rechnerisch der optimalen, binären Codierung von Zahlen (= Dualsystem), bei der die mindestens notwendige Ziffernanzahl der Dualzahl so bestimmt wird /5/.

Es läßt sich also, nach v. Cube /24/; /23/, definieren:

"Unter der Information eines Zeichens innerhalb einer gegebenen Zeichenmenge versteht man die kürzeste Binärcodierung dieses Zeichens".

Die "gegebene Zeichenmenge" muß bekannt sein, da sonst eine "kürzeste Binärcodierung" nicht möglich ist. Darin liegt auch die in 2.1. erwähnte Abhängigkeit der syntaktischen Information vom Sender, der die gegebene Zeichenmenge bestimmt.

---

* "Wahrscheinlichkeit" wird hier im Sinne von Erwartungswahrscheinlichkeit verwendet (Bar-Hillel,/27/).

Rechnerisch läßt sich die Zahl der Elementarentscheidungen, also der Informationsgehalt einer komplexen Entscheidung, bei gegebener Anzahl n gleichwahrscheinlicher Alternativen durch folgenden Ausdruck bestimmen:

$$I = \mathrm{ld}\, n \qquad \text{(bit)} \qquad (1)$$

Bei einer Nachricht, die aus n verschiedenen, gleichwahrscheinlichen Zeichen besteht, ist dann der Informationsbetrag eines jeden Zeichens gleich I. Da in diesem Fall alle Zeichen den gleichen Informationsbetrag besitzen, ist I zugleich der durchschnittliche Informationsbetrag I eines Zeichens. n wird auch Repertoiregröße (Repertoireumfang) genannt.
Enthält eine Nachricht insgesamt N Zeichen bei einer Repertoiregröße n, so berechnen sich der Informationsgehalt der gesamten Nachricht zu

$$I = N \cdot \mathrm{ld}\, n \qquad \text{(bit)} \qquad (2)$$

Diese Überlegung läßt sich erweitern auf Nachrichten, deren Zeichen nicht gleichwahrscheinlich auftreten. Es muß dann eine Bewertung der Zeichen nach ihrer Wahrscheinlichkeit erfolgen, da ein wahrscheinliches Zeichen eine geringere Information besitzt als ein unwahrscheinliches. Der Informationsgehalt eines Zeichens mit der Wahrscheinlichkeit h_i aus einem Repertoire von n Zeichen beträgt dann

$$I_i = \mathrm{ld}\, \frac{1}{h_i} \qquad \text{(bit)} \qquad (3)$$

Es ist leicht zu erkennen, daß (1) ein Spezialfall von (3) ist, da für Gleichverteilung $h_i = \frac{1}{n}$ gilt. Anschließend kann wieder der Informationsgehalt der gesamten Nachricht (N Zeichen; Repertoiregröße n Wahrscheinlichkeit der n verschiedenen Zeichen: h_i) bestimmt werden.

Jedes der n verschiedenen Zeichen kommt $N \cdot h_i$ mal in der Nachricht vor, leistet also einen Informationsbeitrag von $N \cdot h_i$ mal dem nach (3) berechneten Informationsbetrag eines Zeichens zur Nachricht:

$$I_{i\ (beitrag)} = N \cdot h_i \cdot ld \frac{1}{h_i} \quad (bit) \qquad (4)$$

Dieser Informationsbeitrag der i- ten Zeichen des Repertoires wird dann für alle n verschiedenen Zeichen aufsummiert und ergibt den Informationsgehalt der gesamten Nachricht:

$$I = \sum_{i=1}^{n} N \cdot h_i \cdot ld \frac{1}{h} \quad (bit) \qquad (5)$$

Daraus läßt sich durch Division durch die Gesamtzahl N der durchschnittliche Informationsbetrag eines Zeiches bestimmen:

$$\bar{I} = \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot ld \frac{1}{h_i} \quad (bit) \qquad (6)$$

Diese Formel ist als Shannon'sches Informationsmaß bekannt; zusätzlich muß gelten:

$$\sum_{i=1}^{n} h_i = 1 \qquad (6a)$$

Vergleicht man nun die Formel (2) und (5) bzw. (1) und (6) anhand von Zahlwerten, so kann man folgendes feststellen:
Den größten Informationsgehalt hat eine Nachricht von N Zeichen aus einem Zeichenrepertoire n dann, wenn die n verschiedenen Zeichen gleichwahrscheinlich auftreten. Es gilt dann also

$$\bar{I}_{max} = ld\ n \qquad (7)$$

Hofmann /65/ und v. Cube /24/ zeigen, daß grundsätzlich statt der Wahrscheinlichkeiten h_i auch Häufigkeiten eingesetzt werden können; das Wahrscheinlichkeitsfeld wird dann zu einem Zustandssystem einer bestimmten Struktur.

Lutz /97/ erweitert diesen Gedankengang von der Nachricht auf den allgemeineren, für die Kybernetik sehr wichtigen Begriff Struktur. Dies ist ohne wesentliche Änderungen möglich.

Anhand der gleichen formalen Beschreibung (6) definieren nun Shannon und Wiener /165/; /24/;/23/; Information auf verschiedene Art und Weise:

Shannon folgt mit seiner Interpretation dem (von ihm entwickelten) hier dargestellten Gedankengang bei der Aufstellung des Informationsmasses I nach (6). I ist - ähnlich der Entropie in der Thermodynamik - ein Maß für die Unordnung der Elemente eines Systems bzw. für die Unsicherheit des Auftretens der Elemente einer Nachricht. Eine Nachricht enthält dann umsomehr Information, je unsicherer ihre Elemente vorherzusagen sind, oder je vielfältigere Auswahlmöglichkeiten es zwischen ihren Elementen gibt.
Wegen dieses zentralen Begriffes Auswahl sprechen einige Autoren in diesem Zusammenhang auch von selektiver Information /24/.
Die Information nimmt, nach Shannon, also mit der Ordnung eines Systems oder einer Nachricht ab, da das einzelne Element des Systems oder der Nachricht mit wachsender Ordnung leichter vorhersagbar wird.

Im Gegensatz dazu ist Information, nach Wiener, ein Prozess abnehmender Entropie , den Wiener Negentropie (von: negativer Entropie) nennt /165/; /24/; /23/.
Ein System gewinnt dann an Information, wenn es z.B. durch eine Nachricht von einem ungeordneten in einen geordneten Zustand geführt wird. Information wäre demnach erst durch die Veränderung

zwischen zwei Zuständen zu erkennen.

Hier treffen sich die beiden Definitionen von Shannon und Wiener; denn das System (z.B. Empfänger) gewinnt, nach Wiener,genau so viel an Information, wie ihm,nach Shannon durch die Nachricht mitgeteilt wird. Beide Definitionen gehen vom gleichen mathematischen Formalismus aus. Wenn nicht anders erwähnt, ist bei den folgenden mathematischen Beschreibungen der Information der Shannon'sche Informationsbegriff zugrunde gelegt.

Die Entwicklung von einem wie in (6) definierten Informationsmaß bis zu einer darauf aufbauenden Informationstheorie verlief, nach v. Cube /24/, in 4 typischen Stadien:

1. Definition eines Maßes;
2. Generalisation, d.h. Erweiterung des Meßbereiches und des Maßes selbst;
3. Etablierung des Maßes als Funktion einer Theorie, d.h. als Grundlage mathematischer Beziehungen und experimentell ermittelter Gesetze;
4. Aufbau allgemeiner Konstruktionen aufgrund der in 3. gefundenen Beziehungen und Gesetze.

Weitere mathematische Größen der Informationstheorie werden in 2.1.3. vorgestellt, ihre Anwendungen in 2.2. diskutiert.
Zunächst werden - nach der syntaktischen Information - die übrigen Komponenen des Informationsbegriffes besprochen.
(Literatur zur hier gezeigten Ableitung des Shannon'schen Informationsmaßes: /5/; /4/; /26/; /23/; /106/; /110/; 165/; die Terminologie ist in der Literatur unterschiedlich, sie wurde hier in Übereinstimmung mit v.Cube verwendet).

2.1.1.2. Die semantische Komponente

Die semantische Information als Komponente der objektiven Information ist die allgemeine Bedeutung einer Nachricht oder einer Zeichenfolge. Ausgeschlossen ist dabei die spezielle Bedeutung für einen bestimmten Empfänger in einer bestimmten Situation.

Diese Abgrenzung läßt sich an einem Beispiel darstellen:
Welche Information hat das Wort FEUER? /132/.
Die syntaktische Komponente stellt fest, daß das Wort aus 5 Zeichen (hier: Buchstaben) eines Zeichenrepertoires (hier: Alphabet) von 26 verschiedenen Zeichen besteht und fragt nach den Wahrscheinlichkeiten des Auftretens und der Kombination dieser Zeichen. Sie beschreibt also den Aufbau und die Struktur dieses Wortes.
Die semantische Komponente ist die Verknüpfung gerade dieser Zeichenkomponente FEUER mit dem physikalischen Vorgang Feuer.
Die subjektive Komponente hängt vom Empfänger und von der Situation ab.
Für einen Heizer oder einen Sportschützen hat das Wort eine alltägliche Bedeutung und somit keinen großen pragmatischen Informationsgehalt. Größten subjektiven Informationsgehalt hat das Wort F E U E R dagegen als Ausruf, z.B. in einem vollbesetzten Saal.
Innerhalb der Sprachwissenschaft ist die Semantik eine Wissenschaft, die sich mit der Bedeutung von Worten beschäftigt /126/.

Die semantische Komponente der Information ist hier insoweit von besonderem Interesse, als sie quantifizierbar ist. Dazu gibt es von einigen Autoren für bestimmte Nachrichtenarten (z.B. Sprache) Ansätze von praktischer Bedeutung:

Shannon untersuchte den semantischen Informationsgehalt der Sprache und ging dabei von der Information des einzelnen Buchstaben aus. Er entwickelte einen Ratetest (beschrieben in /162/), in dem Versuchspersonen (VPn) ein Text bis zu einer Stelle mitgeteilt wird, ab der sie dann den weiteren Verlauf Buchstaben für Buchstaben erraten sollen. Es wird ihnen nach jedem Versuch mitgeteilt, ob das geratene Zeichen richtig oder falsch war.

Aus der Analyse der Zahl der Rateversuche lassen sich dann die Grenzen für den Informationswert des Zeichens bestimmen. /162/. Zu diesem Ratetest werden von Weltner /162/; /163/; /164/;/161/; und Heinrich /63/ Vereinfachungen und technische Verbesserungen vorgeschlagen, die den Test für die praktische Anwendung interessanter machen. (vgl.2.2.).

Dazu ist anzumerken, daß der Shannon'sche Ratetest eigentlich eine subjektive Information des Textes (für die VPn) bestimmt; bei genügend einfachen und allgemeingültigen Texten ist diese aber näherungsweise gleich der semantischen Komponente plus einer (abschätzbaren) syntaktischen Komponente.

Eine weitere Möglichkeit, die auch im nichtsprachlichen Bereich anwendbar ist, liegt darin, alle möglichen Bedeutungen in ihrer Häufigkeit bzw. Wahrscheinlichkeit zu erfassen und dann die semantische Komponente wie die syntaktische nach der Shannon'schen Formel zu berechnen (vgl. /38/; /24/).

Einen solchen Zusammenhang konnte Frank /38/ experimentell bestätigen:
Für die Identifizierung eines bestimmten Zeichens (aus einer bestimmten Zeichenmenge) mit vereinbarter Bedeutung wurde ziemlich genau die doppelte Zeit benötigt, wie für ein Zeichen ohne Bedeutung aus einer gleich großen Zeichenmenge.
Die Zeit zeigt sich außerdem entsprechend Formel (1) als logarithmische Funktion der Repertoiregröße.
Schick diskutiert die Möglichkeit, über ein einheitliches semantisches Bezugssystem für jedes Schallereignis eine mehrdimensionale Wirkungs- bzw. Bedeutungsstruktur zu ermitteln / 126/.

Bei der Untersuchung von Nachrichten mit semantischem Gehalt ist sorgfältig zwischen der syntaktischen Komponente (z.B. nach Fucks /47/) und der semantischen Komponente zu unterscheiden, auch wenn gelegentlich das gleiche mathematische Kalkül benutzt wird.

Die Schwierigkeit dieser Unterscheidung läßt eine Untersuchung von Fucks /47/ erkennen, in der durch eine Analyse der syntaktischen Komponente geschriebener Sprache bereits der Stil eines Schreibers identifiziert und sogar generell zwi-

schen "Dichtern" und "Schriftstellern" unterschieden werden kann.

2.1.2. Subjektive Information

Der Begriff der subjektiven Information ist wie in 1.1. gezeigt wurde, für die Beschreibung einer Lärmsituation von besonderer Bedeutung. Zugleich ist er - im Gegensatz zur objektiven Information - am schwierigsten quantitativ zu beschreiben, da man sich nicht auf die Beschreibung der Nachricht und des Senderzeichenrepertoires beschränken kann, sondern Kenngrößen des Empfängers und der Situation mit in die Beschreibung aufnehmen muß.
Gegenstand der Untersuchung ist nach Weltner /161/ die Interaktion zwischen einer vorgegebenen Zeichenfolge und einem bestimmten Empfänger.
Um die subjektive Information zu "messen", muß also der adressierte Empfänger von der "Meßeinrichtung" miterfaßt werden.
Bei der Verschiedenheit möglicher Empfänger und Situationen sind allgemeingültige Aussagen schwer zu finden; Beschreibungen der pragmatischen Information, die für jeden Einzelfall gelten, wird es wohl nicht geben.

Trotz dieser grundsätzlichen Einschränkung gibt es, wohl wegen der interessanten Anwendungsmöglichkeiten, einige Ansätze, die subjektive Information zahlenmäßig zu erfassen:

Zunächst kann zur Bestimmung der subjektiven Information sprachlicher Nachrichten der Shannon' sche Ratetest verwendet werden, der tatsächlich wie in 2.1.1.2. gezeigt, den Empfänger in der Empfangssituation in den Meßvorgang einbezieht.

Den Shannon'schen Ratetest als Instrument zur Messung subjektiver Information befürwortet vor allem Weltner /162/; /163/; /164/; 161/, aber auch v. Cube /24/.
So gut sich der Ratetest für bestimmte Aufgaben eignet, z.B. zur Bestimmung der Information von Lehrbuchtexten (Weltner), so ist doch zu bezweifeln, daß er imstande ist, die gesamte in der Sprache oder Schrift enthaltene subjektive Information zu erfassen:

1. Bestimmte Situationen sind durch einen Ratetest nicht zu erfassen, da dessen Anwendung die Situation entscheidend verändert; z.B. der Ausruf "Feuer" (vgl. 2.1.1.2.).
2. Wörter, die starke Emotionen hervorrufen, können trotz ihres hohen subjektiven Informationsgehaltes schneller geraten werden, als neutrale Wörter. Das bedeutet, daß der Shannon'sche Ratetest Emotionen, die durch sprachliche Nachrichten ausgelöst werden, überhaupt nicht, oder falsch berücksichtigt, obwohl diese die subjektive Information der Nachricht entscheidend verändern.

Ein ganz anderer Weg wird von Gäng /48/ eingeschlagen. Er stellt fest, daß die meisten Informationsmaße nur Aussagen über die Seltenheit einer Struktur oder einer Bedeutung treffen und nichts über den Inhalt und den Neuigkeitswert eines Satzes aussagen - von zufälligen Übereinstimmungen dieser Umstände abgesehen.
Ausgehend von einem Modell eines motivierten Organismus (nach Stachowiak /138/), der bestimmte Zielereignisse anstrebt, definiert Gäng den subjektiven (pragmatischen) Informationsgehalt einer Nachricht als Nutzen für den Organismus zur Erreichung eines Zieles, das durch ein Motiv vorgeschrieben wird, bzw. als Zuwachs an Motivbefriedigung für den Organismus.
Diesen interessanten Informationsbegriff, der dem von Steinbuch /27/ (vgl. 2.1.) nahekommt, faßt Gäng in eine formale Beschreibung, die eine quantitative Auswertung erlaubt /48/.

Obwohl diese sicher manche interessante Anwendung ermöglicht , soll hier auf eine Wiedergabe der Formelableitungen verzichtet werden, da diese kompliziert sind und eine Anwendungsmöglichkeit für die hier vorliegende Fragestellung nicht erwartet wird.

Ausführlich setzt sich v. Cube mit dem Problem der subjektiven Information auseinander /24/; /19/:

Eine zentrale Frage, die nach v. Cube nur experimentell gelöst werden kann, ist daher, "auf welchem Repertoire und mit welchen Wahrscheinlichkeiten ein Empfänger die Zeichenmenge aufnimmt und verarbeitet".
Diese Daten müssen individuell für jeden Empfänger bestimmt werden. Sie können sich von den entsprechenden Senderdaten erheblich unterscheiden, d.h. eine Nachricht, die vom Sender aus einen hohen Informationsgehalt hat, kann für den Empfänger nahezu ohne Information sein und umgekehrt.
V. Cube gliedert das "Problem der subjektiven Information" in 4 Teilprobleme:

1. Das subjektive Repertoire hängt z.B. für sprachliche Nachrichten von der Kenntnis und dem "Grad der Vertrautheit mit der Sprache, dem Text und dem Sprecher" ab, ferner von der Geschwindigkeit der Informationsdarbietung, von der Art der Zusammenfassung, Gliederung, usw. Das subjektive Repertoire kann sich während der Informationsaufnahme verändern.
2. Die subjektiven Wahrscheinlichkeiten der Nachrichtenelemente brauchen nicht mit den tatsächlichen, objektiven Wahrscheinlichkeiten übereinstimmen. Die objektiven Wahrscheinlichkeiten können aber vom Empfänger im Verlauf einer längeren Nachricht gelernt werden (informationelle Akkomodation).
3. Die subjektive gespeichterte Information oder Vorinformation des Empfängers kann ebenfalls die subjektive Information einer eintreffenden Nachricht erheblich beeinflussen.
4. Die Invarianz der subjektiven Information ist eine Eigenschaft des menschlichen Empfängers. V. Cube postuliert, anhand einiger Emperimente, daß der Mensch in der Zeiteinheit stets denselben Betrag an Information aus seinem Wahrnehmungsfeld herausholt - unabhängig von der Art der jeweiligen Information. Experimentell bestätigt wurde dies für den syntaktischen Anteil der subjektiven Information.

Stachowiak /138/ vergleicht die subjektive mit der objektiven Information und findet die Beziehung

$$I_{subj} - I_{obj} \geq 0; \text{ bzw. } I_{subj} \geq I_{obj} \qquad (8)$$

Frank /44/; v. Cube /24/ und Stever /143/ beweisen diese Beziehung (8) auf verschiedene Art, unter der Nebenbedingung, daß mindestens eine subjektive Zeichenwahrscheinlichkeit von der entsprechenden objektiven verschieden ist. Damit wird der Fall einer eintreffenden, bereits voll bekannten Information ausgeschlossen und (8) besagt dann, daß mit fortschreitendem Erkennungsvorgang die subjektive Information I_{subj} verringert wird bis zu einem Grenzwert $I_{subj} = I_{obj}$.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die subjektive Information definitionsmäßig und begrifflich gut erfaßt ist; Einer mathematischen Beschreibung stehen Schwierigkeiten entgegen, die bisher nur für definierte Spezialfälle Näherungslösungen erlauben.

2.1.3. Weitere Begriffe

Aus den bereits definierten Begriffen "mittlerer Informationsgehalt eines Zeichens" und "Informationsgehalt einer Nachricht" lassen sich weitere wichtige Begriffe der Informationstheorie ableiten:

Wichtig für den Empfänger ist nicht nur der gesamte Informationsgehalt einer Nachricht, sondern auch die Informationsmenge, die er pro Zeiteinheit zu verarbeiten hat. Dies ist der Informationsfluß H (Einheit: bit/s). /106/; /132/.

Da eine Nachricht selten verlustfrei übertragen wird, ist ein Maß für den Umfang der Verluste oder umgekehrt für den Umfang der richtig übertragenen Information notwendig.
Letzteres ist die Transinformation T (Einheit: bit)

/ 102 /; / 106 /, von Attneave / 5 / auch "übertragene Information" genannt.
Zur Transinformation kommt auf der Senderseite hinzu, was bei der Übertragung verlorengeht, auf der Empfängerseite, was der Empfänger zusätzlich aufnimmt.

Ein zentraler Begriff für die Beschreibung informationeller Vorgänge ist die Redundanz R (Einheit: bit).
Weist eine Nachricht Redundanz auf, so enhält sie mehr Zeichen, als zur Übertragung ihrer Information minimal notwendig wären. Für die syntaktische Komponente der Information läßt sich die Redundanz damit rechnerisch erfassen:
Die minimale Anzahl von Zeichen für eine bestimmte Nachricht ergibt sich dann, wenn jedes Zeichen einen maximalen mittleren Informationsgehalt trägt. Dieser liegt dann vor (vgl. 2.1.1.1.), wenn n verschiedene Zeichen gleich wahrscheinlich/häufig auftreten und berechnet sich nach (1) bwz. (7).

$$\bar{I}_{max} = ld\ n \qquad \text{(bit)} \qquad (7)$$

Bei einer redundanten Nachricht ist dieser mittlere Informationsgehalt eines Zeichens nicht maximal, also kleiner und berechnet sich nach (6)

$$\bar{I} = \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot ld \frac{1}{h_i} \qquad \text{(bit)} \qquad (6)$$

Die Differenz zwischen den beiden Ausdrücken $\bar{I}_{max} - \bar{I}$, ist demnach ein Maß für die Redundanz; es wird meist als absolute Redundanz bezeichnet /4/; /106/; /110/.

$$R = \bar{I}_{max} - \bar{I} = ld\ n - \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot ld \frac{1}{h_i} \qquad \text{(bit)} \qquad (9)$$

Meist wird R auf I_{max} normiert und als relative Redundanz bezeichnet.
/5/; /4/; /24/; /106/; /110/.

$$r = \frac{R}{I_{max}} = \frac{I_{max} - \bar{I}}{I_{max}} = 1 - \frac{\bar{I}}{I_{max}}$$

$$r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i \cdot ld\ 1/h_i}{ld\ n} \quad \text{(dimensionslos)} \quad (10)$$

Attneave /5/ unterscheidet Redundanzen verschiedener Ordnung: Eine Redundanz 1. Ordnung bezieht sich auf die Wahrscheinlichkeiten der Einzelelemente, bei einer Redundanz 2. Ordnung werden Auftretenswahrscheinlichkeiten von 2er- Gruppen der Elemente mitberücksichtigt, bei einer Redundanz 3. Ordnung solche von 3er- Gruppen, etc.

V. Cube /24/ beschreibt Redundanz als ein Maß der Ordnung, geeignet um Ordnungszustände verschiedener Systeme miteinander zu vergleichen. Eine redundante Nachricht ist zwar ökonomisch nicht optimal, dafür aber unanfälliger gegen Störungen bei der Obertragung, Aufnahme oder Verarbeitung der Information /24/; /110/, da der Verlust eines oder mehrerer Zeichen nicht notwendigerweise den Inhalt der Nachricht beeinträchtigen muß.
Neidhardt /110/ unterscheidet in diesem Sinne zwischen nützlicher und schädlicher Redundanz.

Für die semantische Komponente gilt bezüglich der Redundanz qualitativ das gleiche, wie für die syntaktische.
Besonders der Unterschied zwischen nützlicher und schädlicher Redundanz kann am Beispiel eines Vortrags erläutert werden:
Redundanz ist notwendig, um den Zuhörer nicht mit dem Anspruch auf dauernde volle Konzentration zu überfordern.
Zuviel Redundanz dagegen macht den Vortrag langweilig.

Schließlich wird von Riedel /119/ (nach Frank, 1959) noch der Auffälligkeitswert a eines Zeichens definiert.
Er geht aus vom Oberraschungswert $\ddot{u}_i$ eines einzelnen Zeichens, der sich aus dessen Informationsgehalt I_i bezogen auf den zu erwartenden Informationsgehalt $\bar{I}_i$ eines Zeichens ergibt:

$$\ddot{u}_i = \frac{I}{I}i- = \frac{ld\ 1/h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_j\ ld\ 1/h_j} \quad \text{(dimensionslos)} \quad (11)$$

Ein Zeichen wirkt dann auffällig /119/, wenn ihm ein relativ hoher Überraschungswert zukommt, es aber dennoch genügend oft auftritt. Daraus ergibt sich der Auffälligkeitswert a_i dieses Zeichens zu

$$a_i = h_i \cdot \ddot{u}_i = \frac{h_i}{\sum_{j=1}^{n}} \cdot \frac{ld\ 1/h_i}{h_j \cdot ld\ 1/h_j} \quad \text{(dimensionslos)} \quad (12)$$

d.h. er ist gleich dem Anteil des i-ten Zeichens an der durchschnittlichen Information aller Zeichen bezogen auf die durchschnittliche Information aller Zeichen.

Interessant ist nun, daß diese Funktion $a_i(h_i)$ ein Maximum bei einer Wahrscheinlichkeit/Häufigkeit von $h_i = 1/e = 0{,}368$ besitzt, d.h. ein Zeichen aus einer Zeichenmenge n, das mit dieser Wahrscheinlichkeit $h_i = 1/e$ auftritt, hat einen maximalen Auffälligkeitswert.

Es ist anschaulich leicht einzusehen, daß ein Zeichen, das sehr selten auftritt, insgesamt keinen hohen Auffälligkeitswert haben wird, daß ebenso ein Zeichen, das sehr oft auftritt, nicht mehr auffällig ist. Daraus folgt die Existenz eines Maximums dazwischen.

Diesen Umstand nennt Frank /37/; /39/; /41/ Maximumeffekt und erbringt für diesen rechnerisch ermittelten Effekt einige experimentelle Beweise, für die VPn Häufigkeiten (z.B. von Farben oder isilbigen Worten) schätzen sollten.

Dabei wurden Elemente mit dieser Häufigkeit $h_i = 1/e$ als häufiger vorkommend eingeschätzt, als andere Elemente mit einer größeren tatsächlichen Häufigkeit.

Umgekehrt ließ Riedel /119/ Bilder entwerfen, in denen sich je eine Farbe aus allen anderen besonders hervorheben sollte. Auch hier wurde der Maximumeffekt bestätigt.

Es ist zu vermuten, daß der Auffälligkeitswert mit dem Maximumeffekt auch zur Analyse von Geräuschen bezüglich deren Wirkung auf den Menschen herangezogen werden kann.

Anwendungen des Informationsbegriffes auf die Informationsverarbeitung (IV) im Menschen werden im nächsten Kapitel (2.2) diskutiert.

2.2. Anwendungen des Informationsbegriffes auf die Informationsverarbeitung (IV) im Menschen

Über Anwendungen des objektiven Informationsbegriffes auf die IV im Menschen gibt es bereits eine umfangreiche Literatur. Diese wird in den folgenden Kapiteln zusammenfassend dargestellt. Zur besseren Übersicht wird dabei die IV im Menschen unterteilt in die Informationsaufnahme (2.2.1.) und die eigentliche IV (2.2.2.).
In 2.2.3. werden dann Folgerungen für die Anwendung des Informationsbegriffes auf die Geräuschbeurteilung diskutiert.

2.2.1. Die Informationsaufnahme im Menschen

Bei der Untersuchung der Informationsaufnahme im Menschen ist zu unterscheiden zwischen der informationstheoretischen Beschreibung der eintreffenden Nachrichten einerseits und der menschlichen Wahrnehmungen dieser Nachrichten andererseits.

2.2.1.1. Untersuchung der eintreffenden Nachrichten

Die Anwendung der Informationstheorie auf eintreffende Nachrichten ist entsprechend den vorhergegangenen Überlegungen im Prinzip verhältnismäßig leicht möglich und wurde von verschiedenen Autoren jeweils für spezielle Nachrichten durchgeführt.
Außerdem gibt es eine große Zahl physiologischer und psychologischer Untersuchungen mit künstlichen Nachrichten bzw. Signalen, die informationstheoretisch hätten erfaßt werden können, wo dies aber

nicht geschehen ist. Nachträglich ist dies meist nicht möglich, da dazu wichtige Daten nicht angegeben sind. Einige Ausnahmen sollen noch diskutiert werden.

Zunächst ein Oberblick über einige bereits durchgeführte informationstheoretische Analysen eintreffender Nachrichten:

In einer arbeitswissenschaftlichen Untersuchung der Fluglotsentätigkeit bestimmt Rohmert /122/ die Folgewahrscheinlichkeiten von 5 möglichen eintreffenden Meldungen und leitet daraus ein informationstheoretisches Maß (nach Shannon) der Belastung eines Fluglotsen ab.
Dies erscheint gerechtfertigt, wenn nach einiger Obung die immer gleichlautenden Meldungen nicht mehr Wort für Wort, sondern "als Block" aufgenommen werden.

Pollack /114/; /115/;/5/ zeigt, daß bei Darbietung von Einzeltönen unterschiedlicher Tonhöhe nur 4-5 Töne sicher identifiziert werden (Ausnahme: absolutes Gehör).
Das bedeutet, daß ein Einzelton, falls nur eine akustische Dimension (Tonhöhe) verändert wird, 2-2,3 bit Information übertragen kann.
Einen ähnlichen Wert findet er, wenn nur die Lautstärke von Einzeltönen stufenweise verändert wird. Nur das Hinzunehmen weiterer Dimensionen (z.B. Lautstärke+Tonhöhe variiert)bringt einen entscheidenden Informationszuwachs pro stimulus.

Klix /87/ meint, aufgrund eigener Experimente mit dem Erkennen verschieden komplexer geometrischer Muster, nicht das Shannon'sche Informationsmaß sei zur Beschreibung wahrgenommener Information geeignet, sondern eher ein Algorithmus, der "die Regeln der Zeichenfolge heraussiebt".
Ähnlich äußerte sich schon Haseloff /27/ bei den Starnberger Gesprächen 1968.

Mehrere Autoren bemühen sich, den Informationsgehalt von Musik zu erfassen:

Leipp /95/ stellt fest, daß eine musikalische Nachricht auch dann nur wenig beeinträchtigt wird, wenn die musikalischen Signale fast zerstört werden, wenn z.B. Musik durch eine dämmende Wand wahrgenommen wird.

Nach Knapp /93/ hat harmonische Musik, z.B. Barockmusik, einen geringeren Informationsfluß als atonale Musik, z.B. Schönbergs Zwölftonmusik, da in der harmonischen Musik eine Reihe von Tonkombinationen nicht erlaubt sind, und somit die

Zahl der möglichen Kombinationen, also deren Repertoire, kleiner ist.

Diesen Gedanken weiterführend analysiert Goubeau /51/ den Stilumbruch in der antiken Musiké (Einheit von Dichtung und Musik). Ca. 450 v. Chr. brach diese Einheit auseinander und es entstand eine autonome Musik.
Goubeau stellt für diesen Zeitraum (qualitativ!) einen wachsenden Informationsfluß der Musik fest, erreicht z.B. durch erhöhte Spielgeschwindigkeit, erweitertes Zeichenrepertoire, häufige Wechsel von Tonart und Rhythmus. Dies wurde offenbar notwendig, um den Informationsverlust des Textes auszugleichen. Es scheint, daß für ein ästhetisch befriedigendes Kunstwerk ein ganz bestimmter Informationsgehalt bzw. Informationsfluß typisch ist. Unterhalb dieses Bereiches wird das Kunstwerk als eintönig, langweilig empfunden, oberhalb als entartet.

Eine ähnliche Entwicklung zum steigenden Informationsfluß ließ sich im Bereich der "pop-music" etwa zwischen 1965 und 1971 beobachten; die Musik wurde schließlich so kompliziert und schwer verständlich (und verkäuflich!), daß ein deutlicher Umschwung zu einfacheren Melodien und älteren Liedern zu erkennen war.

Zu erwähnen ist noch, daß der Informationsfluß zu Beginn einer musikalischen Phrase am größten ist und mit weiterem Verlauf abnimmt; die Redundanz wird größer, d.h. der Neuigkeitswert der folgenden Zeichen nimmt ab /51/; /93/.

Stahl /139/ und Fucks untersuchen informationstheoretisch, durch Ermittlung der Redundanz, zwei musikalische Repertoires, die Tonhöhe und die Tondauer.
Es zeigt sich, daß es möglich ist, musikalische Stilepochen durch die Redundanz ihrer Musik zu kennzeichnen. Stahl stellt bei der Entwicklung der abendländischen Musik eine monotone Verringerung der Redundanz fest.

Fucks /47/ stellt ähnliche Überlegungen auch für die Sprache an und untersucht Häufigkeiten und Verteilungen von Silben und Wörtern. Mit diesen Größen lassen sich mathematisch Sprachen unterscheiden und Dichter oder Schriftsteller nach ihrem Stil erkennen, z.B. auch auf Echtheit prüfen.

Untersuchungen über die Verteilung und Häufigkeiten von Buchstaben in verschiedenen Sprachen gibt es von Küpfmüller /93/. Er fand für die deutsche Sprache einen (abgeschätzten) durchschnittlichen Informationsgehalt von 1,5 bit/Buchstabe bei einer durchschnittlichen (absoluten) Redundanz von 3,2 bit/Buchstabe.

Mantel /100/ findet einen Zusammenhang zwischen der Information der Nulldurchgangsstruktur einer Sprache (Analyse der Schwingungen) und deren Verständlichkeit. Er transformiert dazu die übliche Aufteilung eines Frequenzbandes in Frequenzgruppen in eine solche in Zeitbänder und berechnet die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Nulldurchganges in einem solchen Zeitband.
Mantel zeigt, daß diese Sprachverständlichkeitsmessung mit anderen Sprachverständlichkeitsmessungen (Physical Index; Iso-Preferance-Method) kompatibel ist.

Die soweit aufgeführten Untersuchungen beschäftigen sich überwiegend mit akustischen Nachrichten, die für das "Lärmproblem" natürlich von besonderem Interesse sind.
Es soll noch eine Untersuchung visueller Nachrichten vorgestellt werden:

Frank /46/ untersucht den Informationsgehalt von Bildern nach zwei verschiedenen Methoden:
Die prinzipielle Möglichkeit der Rasterung eines Bildes in Wahrnehmungselemente und anschließende informationstheoretische Analyse nach Auftretenswahrscheinlichkeiten der Elemente bringt, nach Frank, einen viel zu hohen Informationsgehalt. Dies ist anschaulich verständlich, da beim Betrachten eines Bildes normalerweise nicht jedes wahrnehmbare Element registriert wird, sondern es werden "Gestalten", Ordnungen erkannt, die viele Wahrnehmungselemente zusammenfassen und die Information des Bildes (nach Shannon) herabsetzen. Frank schlägt deshalb vor, das Bild verbal zu beschreiben und den Informationsgehalt des Textes nach dem Shannon'schen Ratetest zu ermitteln. Das Ergebnis wäre die semantische Information des Bildes, nach Frank gleich der Differenz aus syntaktischer und ästhetischer Information.

Das erste Verfahren, das Frank /46/ anführt, weist auf eine prinzipielle Schwierigkeit bei der Untersuchung der Information eintreffender Nachrichten hin:
die Unsicherheit über die Repertoiregröße.

Liegt das Repertoire nicht ausnahmsweise fest, wie z.B. bei den 5 möglichen Meldungen in Rohmerts Experiment (s.o.), so muß es von dem, der die Nachricht analysieren will, wie auch vom Empfänger, willkürlich festgelegt werden (vgl. v. Cube: das subjektive Repertoire, in 2.1.2.).
Dies kann erhebliche Unterschiede im Informationsgehalt der Nachrichten mit sich bringen /107/.
Für den Informationsgehalt von Bildern ist dieses Problem besonders schwierig zu lösen /46/:
Zerlegt man das Bild in das kleinstmögliche Raster der Wahrnehmungselemente, so errechnet sich ein viel zu hoher Informationsgehalt, da vereinfachende, übergeordnete Zusammenhänge unberücksicht bleiben /46/ (s.o.). Wählt man ein gröberes Raster, verliert das Bild an Schärfe und - obgleich der Informationsgehalt sich dann kleiner ergibt - das Grundproblem ist damit nicht gelöst.

In diesem Zusammenhang soll noch einmal das Beispiel der musikalischen Phrase (s.o.) erwähnt werden, die anfangs mehr Information vermittelt, als im weiteren Verlauf:
Anfangs geht der Hörer von dem größeren Repertoire möglicher Töne aus; im weiteren Verlauf lernt er, daß sich die Phrase nur aus wenigen Tönen zusammensetzt.

Die Unsicherheit über die Repertoiregröße einer eintreffenden Nachricht darf auch bei der Anwendung informationstheoretischer Methoden auf die Geräuschbeurteilung nicht unberücksichtigt bleiben.

2.2.1.2. Untersuchung der menschlichen Wahrnehmung

Untersuchungen der menschlichen Informationsaufnahme durch die Sinnesorgane werden von verschiedenen Autoren durchgeführt und ermitteln meist den maximalen Informationsfluß, den ein Sinnesorgan aufnehmen kann.

Frank /40/ unterscheidet dabei zwischen der "bloßen Aufnahmekapazität des Sinnesorgans", die sich aus der Zahl und Art der Rezeptoren ergibt und der "Aufnahmekapazität des Empfangssystems bis zum Projektionszentrum" (vgl. 3.2.1.) - nicht bis zum Bewußtsein -, das die entsprechenden Nervenleitungen noch mit enthält.
Die erste Aufnahmekapazitätsgrenze liegt viel höher als die zweite; bis zum Bewußtsein vermindert sich die Aufnahmekapazität dann noch einmal erheblich.

Es soll hier im Hinblick auf die Fragestellung nur das menschliche Ohr angeführt werden. Die meisten Autoren gehen bei ihren Oberlegungen von gerade noch unterscheidbaren Wahrnehmungselementen und der Verschmelzungsfrequenz von 16 Hz (Schwingungen/s) aus und errechnen damit aufgrund verschiedener Verfahren die zweite der von Frank /40/ genannten Aufnahmekapazitätsgrenzen. Wegen unterschiedlicher Auffassungen über die Zahl unterscheidbarer Elemente der Tonhöhe und der Lautstärke

Tonhöhe	Lautstärke	Autor
400.000	1.025	/105/
3.000	130	/40/
850	80	/141/; /34/
90..4000	120	/167/

und auch wegen verschiedener Berechnungsverfahren entstehen sehr unterschiedliche Ergebnisse für die Aufnahmekapazität des menschlichen (vorbewußten)

Gehörsystems. Sie reichen etwa von 20.000... 50.000 bit/s.

Die Unterschiede über die Zahl der Wahrnehmungselemente sind u.a. auf verschiedene Untersuchungsmethoden zurückzuführen; bei der Untersuchung mit Sinustönen im schalltoten Raum sind um ein Vielfaches mehr Wahrnehmungselemente festzustellen, als bei Verwendung praktischer Geräusche in einem realistischen Umgebungsschallpegel /107/; /167/.

Megla /105/ errechnet die Informationsaufnahmekapazität aus der Kanalkapazität einer akustischen Nervenfaser (0,33 bit/s) und deren Anzahl und kommt auf 10.000 bit/s.

Frank /40/ errechnet einen wesentlich höheren oberen Grenzwert von $1{,}48 \cdot 10^6$ bit/s, indem er zu der Anzahl unterscheidbarer Tonhöhe- und Lautstärkestufen noch die Anzahl unterscheidbarer Entfernungen, Richtungswinkel und Meridiane hinzunimmt.

Auch bei diesen Untersuchungen ist die Unschärfe der Aussagen wieder auf die Unsicherheit über die festzulegende Repertoiregröße zurückzuführen. Diese wird hier aber nicht willkürlich festgelegt, sondern ergibt sich experimentell, wobei die Unsicherheit durch verschiedene Voraussetzungen bedingt ist, von denen die Experimentatoren ausgehen.

Steinbuch /141/ enwickelte ein nachrichtentechnisches Modell eines Rezeptors, die Lernmatrix, dessen Anwendungen u.a. von Frank diskutiert werden /42/; /43/.

Es ist noch zu erwähnen, daß die absolute Größe der Aufnahmekapazität des Gehörsystems für die menschliche Informationsverarbeitung ohne weitere Bedeutung ist, sie ist vielmehr ein Maß für das Auflösungsvermögen des Sinnesorgans. Wichtig ist vor allem, daß diese Aufnahmekapazität um viele Größenordnungen über der der bewußten Wahrnehmung (ca 15 bit/s; vg. 2.2.2.) liegt. Es gelangt also bei weitem nicht die gesamte vom Ohr aufgenommene Information ins Bewußtsein, viel-

mehr müssen während der Obertragung erhebliche Informationsreduktionen stattfinden.

2.2.2. Die Informationsverarbeitung (IV) im Menschen

Ein sehr interessantes und erfolgversprechendes Anwendungsgebiet eines genaueren, insbesondere eines quantitativen Informationsbegriffes ist die Verarbeitung der von den Sinnesorganen aufgenommenen Information im Menschen.
Eine wesentliche Bestätigung eines solchen Vorgehens sieht Frank /37/ darin, daß Information im Nervensystem (NS) in binärer Codierung übertragen und verarbeitet wird.
Bei einer informationstheoretischen Betrachtung werden elementare menschliche Vorgänge wie Lernen, Denken, Behalten, Vergessen und bewußte Verhaltenssteuerung auf IV- Prozesse zurückgeführt und damit gegebenenfalls einer quantitativen Analyse zugänglich.
Aufgeteilt in 3 Schwerpunkte wird in den folgenden Abschnitten vorhandene Literatur zu diesem Thema zusammengefaßt.

2.2.2.1. Die "Enge des Bewußtseins"

Obwohl umgangssprachlich ein ziemlich klarer Begriff, ist "Bewußtsein" schwer zu definieren. Aus der Vielfalt der Beschreibungsversuche sei hier ein neuerer von Birbaumer /8/ anzuführen:

"Bewußtsein ist eine nicht weiter definierbare subjektive Erfahrung, die nur an ihrer Negation, dem Mangel oder Verlust des Bewußtseins erkennbar ist. Der Begriff der Wachheit ist gleichbedeutend".

Verliert man in einer kritischen Situation plötzlich die Obersicht, weil zu viel Information gleichzeitig zu verarbeiten ist, so spürt man die Enge des Bewußtseins. Es müßte also mehr Information bewußt aufgenommen bzw. verarbeitet werden als die Kapazität des menschlichen Bewußtseins ausmacht.

Wie in 2.2.1.2. erwähnt, kann das menschliche Gehörsystem etwa 20.000...50.000 bit/s aufnehmen; die Werte liegen für den Gesichtssinn bei $3 \cdot 10^6$ bit/s, für den Tastsinn bei $2 \cdot 10^5$ bit/s und für alle übrigen Sinne wesentlich niedriger /141/. Daraus ergibt sich eine vorbewußte Gesamtaufnahmekapazität von unter $4 \cdot 10^6$ bit/s in der Grössenordnung des Gesichtssinnes.
Für die Aufnahmekapazität des Bewußtseins legt v. Cube /24/ mit ausführlicher Begründung aufgrund einer Literaturübersicht und eigener Experimente (Reaktionszeit; Wahrnehmungszeit) einen Rohwert von 10 bit/s fest.

Zwischen der peripheren Informationsaufnahme und der bewußten IV findet also eine starke Einengung des Informationsflusses statt ($1:10^5$... 10^6; nach /81/ sogar $1:10^7$), deren physiologische Entstehung noch nicht ganz geklärt ist /81/; /141/. Einige Schaltungsprinzipien, die das erreichen könnten, sind im NS erkannt; darüber wird in 3.3.2. berichtet.

Wichtig ist dabei, daß nicht einfach eine Einengung des Informationsflusses, d.h. eine Kapazitätsbegrenzung stattfinden kann; der Organismus muß sich vielmehr die für ihn gerade wichtigen Informationen aus dem Oberangebot der Umweltinformation heraussuchen können. Es muß also eine Selektion stattfinden. Ohne eine solche Herausfilterung wichtiger Informationen wäre ein Organismus von der Komplexität des Menschen in einer ebenso komplexen Umwelt nicht lebensfähig. Auch der Vorgang der Selektion wird in 3. noch ausführlicher besprochen.

2.2.2.2. Das Gedächtnis

Besonders viele informationstheoretische Untersuchungen gibt es von verschiedenen Autoren über das menschliche Gedächtnis. Die meisten experimentellen Untersuchungen basieren auf Lernversuchen, in denen Lern- und Vergessensgeschwindigkeiten definierter Lerninhalte festgelegt werden.

Frank /41/ unterscheidet zwischen einem "Kurzspeicher" ("Fluoreszenzgedächtnis"; /37/), der die "Gegenwärtigung" übernimmt, dem "vorbewußten Gedächtnis", das er - wie auch in der Psychologie üblich - in ein Kurzgedächtnis und ein Langgedächtnis unterteilt /45/ und schließlich dem "unbewußten Gedächtnis", das im Gegensatz zum vorbewußten Gedächtnis nicht willkürlich abrufbar ist.
Experimentell und durch Auswertung in der Literatur genannter Versuche fand Frank folgende Zahlenwerte:
Bei einem maximalen Informationszufluß von ca. 16 bit/s behält das Fluoreszenzgedächtnis höchstens 160 bit für etwa 6...10 s /37/;/41/.
Das vorbewußte Gedächtnis nimmt einen Informationsfluß von etwa 0,7 bit/s auf /41/. Frank /41/ schätzt seine Kapazität auf 10^6 bit.
Im vorbewußten Gedächtnis erwartet Frank /41/; /45/ für das Kurzzeitgedächtnis einen Informationszufluß von 0,4..0,8 bit/s bei einer Kapazität von 1000..2000 bit und für das Langzeitgedächtnis einen Informationszufluß von 0,04..0,08 bit/s bei einer Kapazität von 10^5..10^8 bit.

Wagner /155/ vergleicht diese Werte mit den Ergebnissen anderer, früherer Untersuchungen. Auftretende Unterschiede der Informationszuflußkapazität erklärt sie damit, daß diese im vorbewußten Gedächtnis von der Lernzeit, der Intelligenz und der Übung der VPn abhängt.

Riedel /120/; /121/ findet anhand von Lernexperimenten, in denen er den Lerninhalt nach verschiedenen Zeiten wieder abfragt, für drei hypothetisch angenommene Speicher folgende Zufluß- und Speicherkapazitäten:

Speicher	Speicherzeit	Informationszufluß	Speicherkapazität
S 2	< 30 min	0,497 bit/s	$4{,}04 \cdot 10^3$ bit
S 3	< 4 h	0,347 bit/s	$2{,}12 \cdot 10^4$ bit
S 4	< 11 W	0,1 bit/s	$\approx 10^6$ bit

In neueren Arbeiten werden die Werte von Frank /37/; /41/ für das Fluoreszenzgedächtnis bestätigt; für das vorbewußte Gedächtnis nennen Tricker /149/ und Drischel /29/ aufgrund verschiedener anderer Untersuchungen folgende Werte.

Speicher	Speicherzeit	Informationszufluß	Speicherkapazität
kurz	15..25 s	15..25 bit/s	100..200 bit
mittel	5 min-24 h	0,3..1 bit/s	$10^3..10^4$ bit
lang	> dies	0,03..0,1 bit/s	$10^{10}.. 10^{14}$ bit

Besonders Drischel /29/ stellt die"Frage nach dem Wo", d.h. er sucht anatomische und physiologische Bestätigungen für die Annahme der o.g. Unterteilung der Gedächtnisfunktionen. Dies soll hier nicht diskutiert werden.

2.2.2.3. Lernen und Denken

Viele Erkenntnisse über Lernvorgänge wurden durch v. Cube /24/; /23/ in seiner Redundanztheorie des Lernens zusammengefaßt:
V. Cube erkennt in allen möglichen Lernprozessen als gemeinsames Prinzip die Erzeugung von Redundanz bzw. Ordnung, d.h. die Verringerung des subjektiven Informationsgehaltes.
Für die verschiedenen Lernakte wie Konditionierung, Prägung, Trial+Error, Übung, Automatisierung, Einsicht /24/, sowie für das Auswendiglernen /21/; /22/; /24/ zeigt v. Cube, daß in jedem dieser Fälle durch den Lernakt die objektiv gegebene Information subjektiv verringert wird.

Dies kann auf 3-fache Art geschehen:
1. Redundanzerzeugung durch informationelle Approximation (Akkommodation):
   In diesem Prozeß paßt der Empfänger die Erwartungswahrscheinlichkeiten seines Zeichenrepertoires denen des Zeichenrepertoires ein-

treffender Nachrichten an. (vgl. 2.1.2.).
2. Redundanzerzeugung durch Speicherung:
   Dieses Verfahren mindert die subjektive Information von Textwiederholungen einer Nachricht; bei vollständiger Speicherung wird sie gleich Null.
3. Redundanzerzeugung durch Superzeichenbildung:
   Ein Superzeichen enthält wesentliche Gemeinsamkeiten mehrerer Zeichen. Die Superzeichenbildung entspricht einer Betrachtung von einer höheren Ebene bzw. einer Gestaltbildung bzw. einer Einsicht. Sie erzeugt Redundanz, da auf diese Weise das Zeichenrepertoire verringert wird und somit der Informationsgehalt eines Zeichens sinkt.

Dem Zusammenhang zwischen einem gegebenen Zeichenrepertoire und der Zahl möglicher Superzeichen hat Eckel /30/ mathematisch formuliert.

Sinnähnlich mit 3. definiert Frank /41/ als wesentliches Merkmal des Lernens, daß eine bewahrte Information aufgrund von immer mehr Schlüsselinfomationen vergegenwärtigt werden kann.

Aus den Gedächtnisdaten (vgl. 2.2.2.2.) lassen sich Schlußfolgerungen auf die mögliche Lerngeschwindigkeit (in bit/s) ziehen, die dem Informationszufluß zum vorbewußten Gedächtnis entspricht. Die meisten Ergebnisse von Lernversuchen zeigen, entsprechend der Aussage von Wagner /155/, daß dieser Wert nicht konstant ist; d.h. wird der gelernte Lerninhalt über der Lernzeit aufgetragen, so ist diese "Lernkurve" meist keine Gerade.

Trincker /149/ zeigt, daß Lernkurven (bei begrenztem Lerninhalt) meist aperiodisch verlaufen; bei "inneren Schwierigkeiten" wie Ermüdung oder Wirkung einiger Pharmaka können sie auch gedämpft oder ungedämpft periodisch verlaufen.

Bemerkenswert ist eine weitere Aussage von Wagner /155/, die auf G.A. Miller (1956) zurückgeht und besagt, daß "man unmittelbar etwa 7 Zeichen behält, unabhängig davon, wieviel Information ein einzelnes Zeichen besitzt ..."

Entscheidend für das Behalten ist demnach nicht der Informationsbetrag eines Textes, sondern die Anzahl der zu speichernden Einzelheiten". Tatsächlich ließe sich mit dieser Hypothese der Einfluß von Intelligenz und Übung auf die Anzahl behaltener Zeichen, ferner die Nichtlinearität von Speicherprozessen erklären /155/.

Ähnlich bemerkt Sanders /125/, daß die optimale Datenmenge, die pro Zeiteinheit gerade noch fehlerlos verarbeitet werden kann, keine Frage der Kanalkapazität des Empfängers ist, sondern eher eine Frage des unmittelbaren Gedächtnisses.

Die Erkenntnisse aus einer informationstheoretischen Analyse von Lernvorgängen sind in der Didaktik anwendbar.

Didaktik ist, nach v. Cube /24/, die "Wissenschaft von den prinzipiellen Eingriffsmöglichkeiten und Konstruktionsmöglichkeiten im Bereich menschlichen Lernens".

V. Cube /24/ faßt diese Anwendungen in einer "Redundanztheorie der Didaktik" zusammen. Er stellt didaktische Regeln zur optimalen Darstellung gegebener Information auf, die sich aus der Zuflußkapazität des Gedächtnisses, der Fähigkeit des Wahrscheinlichkeitslernens, dem Prinzip der Superzeichenbildung und weiteren Möglichkeiten der Redundanzerzeugung ergeben.
Ferner werden - für die Empfängerseite - mögliche redundanzerzeugende Verhaltensweisen diskutiert.

An anderer Stelle /20/ erklärt v. Cube den Shannon'schen Informationsbegriff für das rezeptive Lernen, den Wiener'schen Informationsbegriff für das produktive Lernen für relevant.

Anschütz /1/; /2/; /3/ entwichelt ein m,i-Diagramm, in dem er die numerieren Lehrbegriffe über den numerierten Lehrschritten (frames) aufträgt. Anhand dieses Diagramms leitet er sowohl individuelle Lernkonstanten, als auch Kriterien für den Aufbau von Lehrprogrammtexten ab.

Weltner /162/; /164/; /161/ bestimmt die subjektive Information verschiedener Texte, u.a. von Lehrprogrammen, nach dem Shannon'schen Ratetest und erhält (für Studenten) Werte zwischen 0,5 und 2,9 bit/Zeichen. Den höchsten Wert erreicht dabei ein "verdampfter Text", eine Zufallsfolge von Worten, die in keinem inhaltlichen oder grammatischen Zusammenhang stehen. Die subjektive Information eines Textes ist vom Text selbst

und vom Alter und der Vorbildung der VPn abhängig.

Weltner fand ferner, daß ein Lehrprogrammtext auch bei vollständiger Kenntnis der Zusammenhänge noch eine praktisch konstante Information von 0,9 bit/Zeichen enthält. Diese Information, die nur noch durch die Wortwahl des Textes entstehen kann, nennt Weltner "ästhetische Information".

Für den "didaktischen Transinformationsfluß" - die auf die Lehrinformation bezogene subjektive, semantische Transinformation - ermittelt Weltner einen Zahlenwert von 0,2...0,5 bit/s; der Gedächtnisinhalt wurde dabei im Mittel etwa 5 Tage nach dem Lernen festgestellt
Soll ein Satz bei einmaligem Lesen verstanden werden können, dann darf er insgesamt eine von Weltner /164/ aufgestellte Lesbarkeitsgrenze von 160 bit - entsprechend dem Fassungsvermögen des Kurzspeichers - nicht überschreiten.

Eine spezielle Form des Lernes ist das Spielen von Kindern oder jungen Tieren, das nach Hassenstein /56/ zur Informationsgewinnung und - speicherung notwendig ist (vgl. auch /141).

Eng mit der "Fähigkeit zu Lernen" verbunden ist der schwer zu definierende Begriff der Intelligenz.
Eine quantitative Beschreibung von Lernvorgängen könnte meßbare Intelligenzparameter enthalten (vgl. /39/; /140/; /141/.)
Eine so ermittelte Intelligenzdefinition könnte Wesentliches zur Frage der "Intelligenz von Maschinen" beitragen (vgl. /141/).

Eine informationstheoretische Beschreibung von Denkprozessen wird ausführlich von Stachowiak /138/ versucht, der dabei Arbeiten von Frank, Steinbuch u.a. einbezieht.

Insbesondere beschreibt Stachowiak einen "operationalen Denkvorgang", bei dem - mit dem Ziel einer bewußten Veränderung der Außenwelt - aufgenommene Informationen aus der Außenwelt so mit einem veränderlichen Außenweltmodell (AWM) verknüpft werden, daß Prognosen über die Wirkung der geplanten Außenweltveränderung abgefragt werden können.

Diese Vorstellung korrespondiert gut mit dem von Steinbuch /142/ vgl.(1.4.) als notwendig postulierten "Denken in Modellen".

In einem Schema zum Informationsfluß im Menschen grenzt Steinbuch /141/ die Reflexion als einen (im Menschen) geschlossenen informationellen Kreisprozeß von 4 anderen Grundfunktionen "reine Wahrnehmung", "reine Handlung", "bewußte Reaktion" und "unbewußte Reaktion" ab, die durch einen offenen Informationsfluß zwischen Mensch und Umwelt gekennzeichnet sind (vgl. /105/).

Zur Beschreibung des Denkens als Prozess zunehmender Ordnung ist besonders der Wiener'sche Informationsbegriff geeignet. Entsprechend ist auch das Denken, nach v. Cube /24/; /23/, ein redundanzerzeugender Vorgang. Die Reduktion, die Auswahl der Information ist die entscheidende Denkleistung /141/. Charakteristisch ist dabei die stufenweise Bildung von Superzeichen, die ein "Einsehen" der Zusammenhänge auf höherer Stufe ermöglicht. Müller /108/ weist daraufhin, daß wahrscheinlich die Leistungsfähigkeit eines Denkers wesentlich durch die Größe seines Kurzspeichers und seiner Fähigkeit, das Problem diesem Speicherumfang optimal anzupassen, bestimmt wird.

Es erscheint möglich, durch Anwendung des Informationsbegriffes, speziell des Redundanzprinzips, die Vielfalt der Vorschläge von Techniken zur Verbesserung des problemlösenden Denkens anhand allgemeiner Kriterien zu ordnen und zu bewerten. Am Redundanzprinzip werden zugleich wichtige Gemeinsamkeiten von Lern- und Denkvorgängen deutlich.

2.2.3. Anwendung des Informationsbegriffes auf die Geräuschbeurteilung

In den vorhergehenden Abschnitten wurde gezeigt, daß es für einen präzisen Informationsbegriff eine Reihe von Anwendungen im Bereich menschlicher Informationsaufnahmen und -verarbeitung gibt.

Diese Erfahrungen sind sicher teilweise auch auf die Geräuschbeurteilung übertragbar.
Insbesondere wären informationstheoretische Kriterien nützlich die anzeigen, wann Schall zu Lärm wird.

Aufgrund einer Analyse der Literatur über Lärmwirkung (vgl. 1.1.) wurde an anderer Stelle /132/ eine erste Auswertung durchgeführt. Dabei wurden die Literaturergebnisse nachträglich auf einen Zusammenhang mit dem Informationsbegriff untersucht, der meist von den Autoren noch nicht verwendet wurde.
Dieses Verfahren bringt einige systematische Probleme mit sich, da die Untersuchung meist unter anderen Fragestellungen durchgeführt wurden.
Folgende qualitativen Zusammenhänge ließen sich aber herausarbeiten:

1. Je größer die syntaktische Information eines Geräusches, desto stärker ist die aktivierungsbedingte (vgl. 3.4.) Reaktion darauf, desto stärker ist die Aufmerksamkeitzuwendung und desto auffälliger wird dieses Geräusch als Störgeräusch empfunden (vgl. auch /144/.
2. Das Erkennen einer Bedeutung in einer Geräuschstruktur bedeutet eine beträchtliche Verringerung der aufzunehmenden Information, da nun nicht mehr die gesamte Struktur des Geräusches analysiert werden muß.

3. Unterschiedlicher pragmatischer Informations - gehalt verändert gleichsinnig:
   - die subjektive Schallwertung und damit die Lästigkeit und Störwirkung eines Geräusches,
   - die Reaktionsbereitschaft auf einen akustischen Reiz und ferner physiologische Reaktionen,wie die Muskelanspannung und die Hörschwellenverschiebung.

   Dabei fallen alle diese Reaktionen bei unangenehmer bzw. unerwünschter Information stärker aus als bei angenehmer bzw. erwünschter
4. Die Störung einer Tätigkeit durch Geräusche hängt ab vom Informationsfluß der Tätigkeit und
   vom Informationsfluß des Geräusches.

Weitere Hinweise können aus den vorgehenden Abschnitten (2.2.) für die Geräuschbeurteilung entnommen werden.

So ist die Aufnahmekapazität des Ohres (10^4 bit/s) ein Maß für dessen Auflösungsvermögen. Die Lärmempfindung spielt sich dagegen im bewußten Bereich ab, der nur bis etwa 10 bit/s aufnehmen kann.
Entscheidend für die Lästigkeit eines Geräusches wird dann also dessen Informationsfluß im Bereich von 0 bis 10 bit/s oder auch etwas darüber sein, wobei dem oberen Grenzwert möglicherweise eine kritische Stellung zukommt.

Bei der Aufnahme von Geräuschen werden Lernvorgänge eine Rolle spielen, so wie z.B. ein musikalisches Thema zu Beginn seinen größten Informationsfluß vermittelt (2.2.1.1.).
Zur Analyse solcher Lernvorgänge könnten Untersuchungen der Redundanz einen wesentlichen Beitrag leisten.

Solche Oberlegungen führen zu einer Art Informationsästhetik (vgl. Moles, Frank, Bense), die besagt, daß ein ganz bestimmter Informationsfluß (bei Bildern: Informationsgehalt) zum ästhetischen Empfinden beiträgt (vgl. /51/ in 2.2.1.1.).
Nimmt man Lärm etwa als das Gegenteil einer ästhetischen Empfindung an, so liegt die Vermutung nahe, daß auch ein ganz bestimmtes (anderes) Niveau des Informationsflusses zu einer Lärmempfindung beiträgt.

Ein denkbares Modell wäre eine "optimale informationelle (!) Stimulation":
Auf einem ganz bestimmten Niveau des Informationsflusses fühlt der Organismus sich wohl; erhält er zuviel oder zuwenig Information, empfindet er Unwohlsein als Langeweile bzw. überforderung.
Ähnlich definiert Schönpflug /128/ bezüglich der Leistungsfähigkeit einen Punkt optimaler Aktivierung (vgl. 1.3.4.), wobei er einen linearen Zusammenhang zwischen Aktivierung und Lautstärke eines akustischen Reizes (Schallenergie) annimmt.
Zugleich deutet er an, daß die Aktivierung auch von der Struktur des Reizes abhängt (vgl. syntaktische Information!).
Dieser Punkt optimaler Aktivierung verschiebt sich mit der Schwierigkeit der geforderten Leistungsaufgabe in Richtung höherer Aktivierung /128/.

Bei dem Versuch, den Informationsgehalt von Geräuschen zu ermitteln, stößt man auf die in 2.2.1.1. bereits formulierte Schwierigkeit: die Unsicherheit über die Repertoiregrösse der eintreffenden Nachricht.

Am einfachsten erscheint zunächst die Betrachtung von Tonfolgen:

In der bereits erwähnten Arbeit von Pollack /114/; /115/ wird gezeigt, daß nur bis zu einer Repertoiregröße von 4..5 Tönen jeder Ton einwandfrei identifiziert werden kann.
Andere Autoren, z.B. Mantel /99/, gehen bei der Festlegung der Repertoiregröße von der Zahl der akustischen Wahrnehmungselemente aus, d.h. sie legen im Prinzip die Auflösungsfähigkeit des Ohres zugrunde.
Dieses Verfahren ist hier nicht sinnvoll, da die Lärmempfindung sich im bewußten Bereich abspielt, dessen Informationskapazität wesentlich geringer ist, als die des peripheren Gehörsystems.
Andererseits ist das Repertoire von Pollack für diese Fragestellung sicher zu klein, da Töne wohl schon als unterschiedlich erkannt werden, wenn sie noch nicht sicher identifizierbar sind.
Das wirklich vom Hörer erwartete Tonrepertoire wird also zwischen diesen Theoretischen Werten liegen und im übrigen stark vom Empfänger, der Vorerfahrung und der Situation abhängen, also starke individuelle Unterschiede aufweisen.

Komplizierter wird die Beschreibung, wenn statt der Tonfolgen reale Geräusche vorliegen. Diese können in Tonfolgen zerlegt werden; es könnte auch eine Amplituden- Zeit- Struktur des Geräusches nach ähnlichen Gesichtspunkten untersucht werden.
Pollack /115/ fand z.B. auch für Lautstärkeabstufungen eine Repertoiregröße von 5 identifizierbaren Stufen.
Wahrscheinlich ist eine Analyse sowohl nach der Tonhöhen-, als auch nach der Zeitstruktur abgebracht, da, nach Pollack /115/, mit Erhöhung der Dimensionalität auch die transportierbare Informationsmenge pro Zeichen ansteigt.

Ebenso wäre die Möglichkeit denkbar, von den Struktureigenschaften des Geräusches abzusehen und nur die Wahrscheinlichkeit des Auftretens gerade dieses Geräusches auszuwerten, d.h. nicht die syntaktische, sondern nur die semantische Komponente der Geräuschinformation zu untersuchen.
In der Praxis kann ein Geräusch sowohl durch seine Struktureigenschaften, als auch durch seine Bedeutung lästig werden.

Durch diese Überlegungen werden für ein und dasselbe Geräusch verschiedene Informationswerte ermittelt.
Eine einheitliche Berechnung der Information eines Geräusches ist erst dann möglich, wenn eine sinnvolle Angabe über die subjektive Repertoiregröße gemacht werden kann.
Nach allen vorliegenden Angaben sind aber nur Abschätzungen über die subjektive Repertoiregröße möglich, die sinnvoll für jede der beiden Dimensionen Lautstärke und Tonhöhe zwischen n = 5...20 liegen wird.

3. Das System

3.1. Begriffsbestimmung

Nach dem Lexikon der Kybernetik von Klaus /86/ ist ein System allgemein eine "Menge" von Elementen und Menge von Relationen, die zwischen diesen Elementen bestehen".
Das kybernetische System ist ein Modell (vgl. 1.4.), d.h. es enthält eine willkürlich in einem Abstraktionsprozeß ausgewählte Teilmenge der Vielfalt von Elementen und Relationen, aus denen das zu beschreibende Gebilde besteht. Handelt es sich dabei um ein Lebewesen oder einen Teil davon, so spricht man von einem biologischen System.

Ein typisches kybernetisches Erkennungsverfahren für die Untersuchung der Eigenschaften von Systemen ist die black-box-Methode /86/; /28/;(Abb. 5).Es wird eine black- box angenommen, die das (unbekannte)System darstellt; diese wird durch eine Eingangs- (input) und eine Ausgangsfunktion (output) beschrieben. Meist wird dann die Eingangsfunktion f_E systematisch verändert; eine Analyse der Reaktion der Ausgangsfunktion f_A läßt dann Rückschlüsse auf den Aufbau und auf weitere Reaktionen des Systems zu.

Biologische Systeme besitzen einige typische Eigenschaften, die ihre Untersuchung erschweren:

1. Der eigentlich interessierende Ausgang des Systems ist oft gar nicht oder nur durch Zerstörung des Systems zugänglich; z.B. sind psychische Erlebnisse eines Menschen als Systemausgangsgröße meßtechnisch nicht direkt zu erfassen. Eine durch sie evtl. bedingte Strukturänderung im menschlichen Gehirn /141/ ist wohl nur bei einer System-

zerstörung zu erkennen. Man ist hier also auf indirekte, dafür aber meßbare Ausgangsgrößen angewiesen.
Dabei besteht ferner häufiger die Gefahr, z. B. bei psychischen Erlebnisvorgängen, daß der Meßprozeß wiederum die zu beschreibende Zustandsgröße beeinflußt (vgl. 5.).

2. Biologische Systeme sind meist hochkomplex und stark vermascht /141/. Wegen der starken Vermaschung erbringt die Analyse einzelner Elemente meist keinen hohen Aussagewert für die Gesamtfunktion des Systems.
Der Satz, daß die Funktion eines Systems komplexer ist, als die Summe der Funktionen seiner Elemente, trifft umsomehr zu, als das System komplexer und vermaschter wird.
Typisches Beispiel dafür ist die äußerst komplexe Funktion des menschlichen Gehirns, das zwar aus sehr vielen, aber auch sehr einfachen Elementen (Neuronen) besteht.
3. Für meßbare biologische Größen sind starke Streuungen typisch. Oft liegt die Standardabweichung in der Größenordnung des Mittelwertes.
4. Es ist typisch (aber nicht notwendig) für biologische Systeme, daß zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße, z.B. Reiz und Reaktion, kein eindeutiger Zusammenhang besteht, d.h. daß auf gleichen Reiz verschiedene Reaktionen erfolgen können und umgekehrt.
Dies kann z.B. durch eine unterschiedliche "Vorprogrammierung" des Systems bedingt sein, die bei jedem lernfähigen System möglich ist. Nach Steinbuch /141/ kann eine solche "Vorprogrammierung" entweder durch Erbanlagen oder durch Belehrung erfolgt sein.

Diese Eigenschaften biologischer Systeme zusammenfassend läßt sich feststellen, daß biologische Systeme wohl nicht mit der gleichen Genauigkeit zu beschreiben sind, wie vergleichbare technische Systeme.

3.2. Grundsätzliche Möglichkeiten der Betrachtung eines menschlichen informationsverarbeitenden (IV-) Systems

Untersuchungen der menschlichen IV sind Untersuchungen eines typischen biologischen Systems, d. h. die in 3.1. genannten Systemeigenschaften sind zu berücksichtigen.
Eine solche Untersuchung kann nach drei verschiedenen Methoden vorgenommen werden:

1. Eine anatomisch-physiologische Betrachtung eines menschlichen IV- Systems versucht die "Bauteile" des Systems und deren Funktionen in einem "Schaltplan" darzustellen.
   Steinbuch /141/ zeigt aber, daß es aus "rein quantitativen Gründen" nicht möglich ist, ein solches Schaltbild des menschlichen Gehirns aufzunehmen und zu analysieren.
   Eine Beschränkung auf ein Blockschaltbild führt dagegen nicht zu der gewünschten Genauigkeit der Beschreibung.
2. Eine psychophysiologische Betrachtung untersucht die Zusammenhänge zwischen physiologisch- organischen Vorgängen, besonders des Zentralnervensystems (ZNS) und dem subjektiven Erleben bzw. dem Verhalten /8/.
   Sie ist als Ergänzung der physiologischen Betrachtung notwendig, wenn Wechselwirkungen zwischen dem subjektiven Erleben bzw. Verhalten und der IV vorhanden sind. Dies ist für die IV im Menschen zu erwarten.

Blauert /9/; /10/ bezeichnet eine mathematische Beziehung zwischen Reiz und Antwort als physiologische Funktion; handelt es sich aber bei der Antwort um eine bewußte Wahrnehmung, dann bezeichnet er die Beziehung als psychophysiologische Funktion.
Bosshardt /14/ untersucht die Beeinflussung der Reizaufnahme durch Vorstellungen und kommt zu der These, daß eine Vorstellung einer bestimmten Sinnesmodalität die Reizaufnahme derselben Modalität blockiert.

3. Eine kybernetische Betrachtung führt das zu untersuchende System als black-box auf allgemeine informationelle Strukturen zurück, ohne auf dessen Aufbau oder Teilfunktionen einzugehen.

Das Vorgehen einer solchen kybernetischen Betrachtung wird ausführlich von Marko /103/ beschrieben: Anhand systematischer Experimente wird ein Modell der Wirklichkeit aufgebaut, das durch möglichst einfache Funktionsschemata beschrieben werden soll. Dazu stehen bestimmte mathematische (kybernetische) Methoden zur Verfügung, die Marko in deterministische und stochastische Methoden unterteilt; z.B. die Netzwerktheorie, Systemtheorie, Theorie der Schaltnetze, Automatentheorie (deterministisch) und Informationstheorie (stochastisch).
Die stochastischen Methoden liefern unschärfere Ergebnisse, eignen sich aber eher zur Beschreibung hochkomplexer Systeme.

Drischel /28/ beschreibt,auch anhand von Beispielen, das Vorgehen nach der black-box-Methode.
Für experimentelle Funktionsuntersuchungen im physiologischen Bereich empfiehlt er:
1. die "Störung" an der Peripherie anzulegen;
2. "physiologische", d.h. keine extremen Parameterbereiche zu verwenden;
3. einen standardisierten Zeitverlauf des Reizes zu verwenden;
4. die"Störung" erst einsetzen zu lassen, wenn der untersuchte Parameter in Ruhe ist.

Keidel /83/ betont die Bedeutung von Regelungsvorgängen bei menschlichen IV- Prozessen.

Von verschiedenen Autoren wurden bereits menschliche IV- oder Regelungssysteme einer kybernetischen Betrachtung unterzogen:

Tanner /145/ formuliert mit seiner "signal- detecting-theory" ein brauchbares mathematisches Modell, das entscheiden kann, ab wann ein "menschlicher Beobachter" ein Signal aus einem bestimmten Rauschpegel heraus erkennen kann (vgl. 3.5.).

Bäuerle /6/ beschreibt die Entscheidungsunsicherheit (z.B. zwischen zwei Tonhöhen) durch die Wirkung eines additiv gaußgestörten Nachrichtenkanals.

Frank /42/; /43/ formuliert unter Verwendung der Steinbuch'schen Lernmatrix /141/ eine mathematische Beschreibung eines Rezeptors.

Holmquest /66/ erstellt aufgrund einer mathematischen Beschreibung ein elektronisches Modell der Hautwiderstandsreaktion (GSR).

Rinsdorf /85/ stellt ein Gleichungssystem zur Beschreibung der Basilarmembranbewegungen auf (vgl. /169/). David /85/ entwichelt dafür und für einen adaptierenden Rezeptor elektronische Modelle, die ähnliches Verhalten zeigen. Mit diesen Modellen lassen sich Systeme künstlicher Nervenzellen zusammenschalten, an denen IV- Prozesse studiert werden können.
Einen ähnlichen Ansatz versuchen auch Pfeiffer /113/ und Mundie /109/.
Mundie /109/ entwickelt ferner ein Modell, das die Pulsfrequenzmodulation akustischer Nachrichten im Nervensystem (NS) darstellt.

Drischel /28/ untersucht viele biologische Regelungssysteme und stellt fest, daß die meisten dieser Systeme sich in grober Näherung durch eine lineare Differenzialgleichung 1. oder 2. Ordnung beschreiben lassen:

$$T_2 x_a'' + T_1 x_a' + x_a = r_o x_e + r_1 x_e' \qquad (13)$$

Selbst beträchtliche individuelle Unterschiede gehen dann u.U. nur als Faktoren ein, d.h. das Prinzip der Regelung bleibt erhalten.
Am Beispiel der Regelung des Blutzuckergehaltes und des Pupillenmechanismus (vgl. /55/) zeigt er typische mathematische Darstellungen auf.

Vossius /154/; /153/ untersucht ausführlich menschliche Folgebewegungssysteme, insbesondere Hand-, Augen- und Augen/Kopf- Folgebewegungen und errechnet entsprechende Obertragungsfaktoren.

Schließlich sei noch an die in 2.2. bereits erwähnten Untersuchungen von v. Cube, Frank, Weltner, u.a. erinnert, in denen menschliche Lern- und Denkvorgänge durch informationelle Schaltkreise und Funktionen dargestellt werden.

Die Aufzählung der zahlreichen Untersuchungen zeigt, daß es auf dem Gebiet der menschlichen IV bereits einige erfolgreiche Ansätze einer kybernetischen Untersuchungsmethodik gegeben hat.
Wann im Einzelfall eine kybernetische Betrachtung notwendig oder sinnvoll ist, kann nach den in 1.4. genannten Kriterien entschieden werden. Denkbar wäre auch, daß eine kombinierte Betrachtungsweise sinnvoll ist, so z.B. ein kybernetisches Modell, das sich in Teilmodellen doch an anatomisch-physiologischen Gegebenheiten orientiert.

3.3. Aufbau des zu untersuchenden menschlichen IV- Systems

3.3.1. Aufbau des Systems aufgrund seiner Phaenomenologie

Die spezielle Fragestellung, ob ein Schall von einem Menschen als Lärm empfunden wird, läßt sich schematisch wie in 1.3. gezeigt darstellen (Abb.1)

In dieser black- box spielt sich die gesamte Verarbeitung des akustischen Signals mit seinen syntaktischen und semantischen Eigenschaften ab. Am Ende dieser Verarbeitung steht eine subjektive Empfindung; diese ist Grundlage für die Entscheidung (Lärm; kein Lärm) am Ausgang des Systems. Die Entscheidung ist für das Lärmergebnis selbst nicht notwendig; sie wird nur als Hilfsfunktion benötigt, da die eigentlich interessierende Aus-

gangsgröße, das Lärmerlebnis, subjektiv und von außen nicht direkt zugänglich ist.
Diesen Umstand berücksichtigt Blauert /9/; /10/ in einer etwas erweiterten black-box (Abb. 6).

Für diese Fragestellung ist h_o das Lärmerlebnis. Dadurch wird das Modell (unwesentlich) verändert, da zwischen dem Hörereignis und dem Lärmerlebnis noch eine weitere (semantische) IV stattfindet. b_o ist dann die Beschreibung des Lärmerlebnisses. Der Block I. enthält nun die gesamte akustische Signalverarbeitung; der Block II. enthält die Beziehung zwischen der Indikatorgröße b_o und dem zu beschreibenden Zustand h_o.

Die Beschreibung b_o kann auf verschiedene Art und Weise erfolgen:

1. durch verbale Aussagen;
2. durch Verhaltensäußerungen;
3. durch Reaktionen meßbarer Körperparameter (physiologische Reaktionen).

Die Aufnahme einer (auf jeden Fall indirekten) Ausgangsgröße b_o ist auf alle 3 Arten möglich. In dieser Untersuchung sollen physiologische Reaktionen aufgenommen werden, da sie subjektiv nur wenig beeinflußbar sind, also relativ objektive Meßgrößen darstellen.
Die Auswertung physiologischer Reaktionen hat gegenüber den anderen möglichen Beschreibungen b_o folgende Vorteile:

- Physiologische Reaktionen laufen weitgehend unbewußt ab, die Versuchsperson (VP) muß sich also nicht bewußt mit ihnen auseinandersetzen. Dies würde dem Lärmergebnis die Unbefangenheit nehmen und es somit verändern.
- Physiologische Reaktionen sind meist physikalische Meßgrößen mit entsprechend eindeutigen Meßverfahren und Skalierungen.

-Es gibt bereits umfangreiche Erfahrungen mit physiologischen Reaktionen auf Geräusche.

Typisch für das Verhalten physiologischer Reaktionen sind deren interindividuelle und intraindividuelle Variationen.
Interindividuell sind Reaktionsunterschiede zwischen verschiedenen VPn,intraindividuell sind Reaktionsunterschiede einer VP zu verschiedenen Zeiten.
Eine ausführliche Diskussion möglicher Reaktionsparameter folgt in 4.2.3.

Die Betrachtung eines Systems aufgrund seiner Phaenomenologie, ohne den Aufbau des Systems zu berücksichtigen (oder zu kennen), läuft auf eine kybernetische Betrachtungsweise hinaus (black- box), sofern eine mathematische Systembeschreibung daraus erfolgt.
Im Gegensatz zu dem Modell von Blauert, die Zusammenhänge zwischen Schallereignis und Hörereignis anschließend prinzipiell mathematisch darstellt, wird aber häufig allein das Aufstellen derartiger Blockschaltbilder als kybernetische Darstellung der Zusammenhänge bezeichnet (Abb. 7).
Meist sind solche Darstellungen in dieser Form nicht für eine weitere kybernetische Analyse geeignet, da keine systematische Datenerhebung und mathematische Beschreibung erfolgte.

3.3.2. Der physiologische Aufbau des Systems

Die physiologische Erforschung des akustischen Systems im Menschen ist ein aktuelles und wichtiges Forschungsgebiet, da noch keineswegs abgeschlossen ist /85/.

Einen schematischen Oberblick über den Aufbau des Systems, von der Schallquelle bis zur bewußten Hörempfindung, gibt Spreng /85/ in einem vereinfachten anatomisch-funktionellen Blockschema (Abb. 8). Die Vereinfachung besteht im wesentlichen darin, daß die Darstellung monaural ist und zahlreiche Verbindungen zwischen den Verarbeitungsebenen ("Blöcken") weggelassen sind. Weitere Informationen finden sich bei Keidel (1967, /85/) in einem "Blockschema der zentralnervösen akustischen Leitungsbahn" (Abb. 9) und bei Dunker /49/ in einem "Schaltplan der zerebralen Hörsysteme" (Abb. 10.).

Zusammenfassend ergibt sich das in Abb. 11 dargestellte Blockschema des Systems, wobei die bilaterale Interaktion weiterhin vernachlässigt ist. Der Erkenntniswert eines solchen Blockschaltbildes wurde in 3.2. diskutiert.

Besonders im unteren Bereich sind die Funktionen bzw. Eigenschaften der Verarbeitungsebenen (Blöcke) recht gut bekannt.
Ein bewährtes experimentelles Untersuchungsverfahren ist das Abgreifen von Potentialen mit Mikroelektroden nach einer definierten Reizung /85/; /49/; /135/.
Das aufsteigende Hörbahnsystem teilt sich in eine spezifische Bahn, die vom Ohr bis zur Hirnrinde (Cortex) die spezifische akustische Information weiterleitet und eine unspezifische Bahn über die Formatio Reticularis (FR), die von allen - auch nichtakustischen - Reizen angesprochen wird und eine allgemeine Erregung des Systems bewirkt (vgl. 3.4.).

Das absteigende Hörbahnsystem dient auf verschiedenen Stufen der IV zur Anpassung, Filterung und Kontrastverbesserung /49/. Die Mitwirkung des unspezifischen und des absteigenden Hörbahnsystems bewirken im Sinne einer sehr feinen Regelung die erstaunlichen Leistungen des Gehörs in Bezug auf Informationsselektion und Bereicheinstellung. Auch die "interne Regulation" unter Lärmeinfluß (vgl. 1.4.) Schönpflug /130/, findet hier ihre physiologische Grundlage.
Im Nervensystem (NS) wird die Information nach dem Puls-Code-Verfahren (Alles-oder-Nichts-Signale, Pulsfrequenzmodulation) weitergeleitet und verarbeitet. Dadurch wird größte Einfachheit der einzelnen Bauelemente und sicherste Informationsübertragung erreicht. Die Codierung des akustischen Signals in den Puls- Code findet im Wandlerorgen statt (Haarzellen); an jeder "Schaltstation" wird das Signal decodiert und wieder neu codiert, was weiterhin zur Obertragungssicherheit beiträgt. /49/; /55/; /105/; /13/.
Außer dieser zeitlichen Codierung wird zusätzlich in einer räumlichen Codierung die Anzahl der eine Nachricht übertragenden Nervenfasern eingestellt /105/; vgl. /84/.

Innerhalb der Verarbeitungsebenen wird die IV durch Neuronenverschaltungen bewirkt. Da Neurone meist in mehreren Synapsen enden, über die es im Rahmen der Verschaltung die Möglichkeit gibt, "bahnend" oder "hemmend" auf andere Neurone einzuwirken, bestehen schon bei kleinen Neuronenpopulationen vielfältige Regelungsmöglichkeiten.

Damit ist, nach dem Modell von Blauert /10/ (vgl. 3.3.1.), der Weg vom Schallereignis s_o zum Hörereignis h_o ungefähr physiologisch beschrieben.
Da das Hörereignis h_o, lokalisiert im akustischen Cortex, bisher noch nicht definiert abgenommen werden kann, also nicht direkt zugänglich ist, muß eine meßbare Indikatorgröße gesucht werden, die von oder mit h_o beeinflußt wird.
Solche Indikatorgrößen werden z.B. über das vegetative Nervensystem angesteuert /18/.
Die Beziehungen zwischen dem Hörbahnsystem und dem vegetativen Nervensystem sind in Abb. 12 blockschematisch dargestellt.
Die Funktionen der dort genannten Bereiche des ZNS außerhalb der spezifischen Hörbahn sind wie folgt kurz zu beschreiben:

Die Formatio Reticularis (FR) erstreckt sich über das gesamte Stammhirn und besteht aus einer schwer abzugrenzenden Menge von Kerngebieten. In sie münden unspezifische Kollateralen von allen senorischen Bahnen.
Neben motorischen Funktionen und einer Mitwirkung am Schlaf- Wach Rhythmus ist ihre "Weckwirkung" auf die Großhirnrinde von besonderer Bedeutung. Davon abhängig ist die bewußte Empfindung eines eintreffenden Signals oder allgemein die Einstellung der Bewußtseinshelligkeit.
Diese Weckwirkung durch Erregung der FR unterliegt bei Wiederholung gleicher Reize starker Gewöhnung (Habituation) /50/.
Die FR kann auch durch die Großhirnrinde erregt werden und beeinflußt außer der Großhirnrinde auch den Thalamus (s.u.), den Hypothalamus (s.u.) und das limbische System (s.u.), sowie weitere Verarbeitungsebenen inner-

halb der spezifischen Hörbahn.
Durch die absteigende Verbindung von der Großhirnrinde ist der FR wahrscheinlich wesentlich an der Fähigkeit zur gerichteten Aufmerksamkeit auf bestimmte Signale (Konzentration) beteiligt /117/.

Das limbische System (LS) umfaßt im wesentlichen entwicklungsgeschichtlich ältere Großhirngebiete. Die Funktion dieses Systems wurde erst relativ spät erkannt und ist noch nicht vollständig aufgeklärt.
Z.T. bewirkt eine Reizung des LSs, wie der FR, eine generelle Cortexaktivierung. Da beide über das mediale Vorderhirnbündel verbunden sind ist ein enges Zusammenspiel zwischen FR und LS anzunehmen. Dies wird in 3.4. weiter diskutiert.
Als sicher gilt auch ein notwendiger Einfluß des LS auf jedes emotionale Verhalten, sowie - indirekt - auf alle vegetativ innervierten Organe über den Hypothalamus (s.u.) und die Hypophyse (s.u.) /8/; /117/.
Trincker vermutet ferner einen steuernden Einfluß des LS auf das Langzeitgedächtnis /149/.

Der Thalamus ist eine Kernhäufung im Zwischenhirn; für fast alle sensorischen Bahnen ist er die letzte große Umschaltstation vor dem Cortex.
In den direkten spezifischen sensorischen Bahnen liegen die Projektionskerne, die mit den zugehörigen Rindenabschnitten fest verbunden sind, also deren "Abbild" darstellen.
Mit den Projektionskernen und anderen Rindenbereichen (Assoziationsfelder) sind die Assoziationskerne verbunden; diese und die Projektionskerne stehen in ständiger Wechselwirkung mit der Großhirnrinde (Erregungsverlauf in beiden Richtungen). Dadurch wird eine Weiterverarbeitung der aufgenommenen Information z.B.

anhand von Gedächtnisinhalten erst möglich. In den reticulären Kernen mündet das unspezifische reticuläre System (FR), um von hier aus das corticale Erregungsniveau einzustellen. Dies kann diffus geschehen, kann aber auch lokal begrenzt eintreten, z.B. bei Aufmerksamkeitszuwendungen auf einen bestimmten Reiz. Der Thalamus führt also im engen Zusammenwirken mit dem Cortex Selektion, Kombination, Einordnung und Umverteilung eintreffender Informationen durch /117/. Dabei besitzt auch das unspezifische reticuläre System eine steuernde Funktion.

Der Hypothalamus, eine Anhäufung von Nervenzellen, ebenfalls im Zwischenhirn, wird, teils in Form von geschlossenen Erregungskreisen (Hin- und Rückleitung), von unspezifischen Kollateralen aller sensorischen Bahnen, von der FR und dem LS und vom Thalamus (bzw. vom Cortex) angesteuert.
Seine Efferenzen steuern alle vegetativ innervierten Organe, sympathisch oder parasympathisch, ferner die Hypophyse (s.u.), die Nebenniere und andere Hormondrüsen und schließlich greift er durch die Synthese einiger Hormone und Triggersubstanzen auch direkt in das hormonale Geschehen ein /117/; /151/.

Die Aufrechterhaltung und Beeinflussung des hormonalen Gleichgewichtes und damit auch die hormonale Steuerung vegetativer Funktionen wird überwiegend von der Hypophyse übernommen, die, direkt verbunden mit dem Hypothalamus, selbst Hormone abgibt und ebenfalls auf diesem Weg (z.B. mit ACTH), weitere hormonproduzierende Organe wie z.B. die Nebenniere ansteuert /117/; /151/.

Das Zusammenwirken verschiedener Hormone gemeinsam mit dem vegetativen Nervensystem ergibt ein äußerst komplexes Reaktionssystem, in dem der Hypothalamus offenbar eine koordinierende Steuerstellung besitzt. /12/; /8/; /151/.

So wird z.B. durch Lärm, aber ebenso auch durch psychische Umstände (Frustration, Ärger, u.a.) eine typische Streß-Reaktion (Aktivierungsreaktion) hervorgerufen /92/; /151/; /18/: Neben der Freisetzung bestimmter Hormone, z.B. Adrenalin, Noradralin, die Traubenzucker- und Fettreserven des Körpers mobilisieren, Blutgefäße verengen, den Herzschlag beschleunigen und die Blutgerinnung fördern (Flucht- und Angriffshormone), wird dabei das gesamte vegetative NS sympathisch erregt /151/.
Dies äußert sich u.a. in: /92/
Veränderung der Atem- und Pulsrate;
Herabsetzung der Hauttemperatur;
Verengerung der Hautgefäße;
Erweiterung der Pupillen;
Verminderung des Hautwiderstandes (elektr.), u. a. durch erhöhte Schweißsekretion.

Die genannten Reaktionen sind meßbare physiologische Parameter, die mit der Beanspruchung des Organismus durch Streß- Auslöser, z.B. Lärm, in Verbindung gebracht werden können.

3.3.3. Die "intervenierende Variable"

Der Umstand, daß ein bestimmter Reiz bei menschlichen IV- Systemen unterschiedliche Reaktionen auslösen kann, macht, nach Haseloff /27/, die Annahme einer intervenierenden Variable zwischen input und output eines solchen Systems notwendig (Abb. 13).
Diese intervenierende Variable greift, je nach Zustandslage unterschiedlich, in die eindeutige Verkettung von input und output ein. Damit ist die input-output-Beziehung nicht mehr eindeutig.
Z.B. wird in der Psychologie die Motivation im allgemeinen als eine intervenierende, vermittelnde, nicht sichtbare Variable angesehen, die bestimmt, ob, wann und welche Aktionen des Organismus ausgeführt werden /8/. Dies führt zu einer Darstellung, wie z.B. nach Haseloff, durch die prinzipiell jedes mögliche Verhalten zu erklären ist.

Haseloff /27/ befürwortet dennoch dieses Verfahren als "einzige Möglichkeit, die Variabilität der Stimulus-Reaktions-Beziehung befriedigend zu erklären".
Er unterscheidet zwei "basale" Funktionen der Motivation:
- eine allgemein "energisierende" und Aktivitäten des Systems überhaupt erst in Gang setzende Funktion, sowie
- eine direkte, zielorientierte und damit das Verhalten situations- und aufgabengerecht organisierende Funktion.

Dabei bewirkt die Motivation, nach Haseloff
- Variation des input;
- Einstellung der Richtung und Intensität zentraler, systeminterner Prozesse;
- Auslösung und Thematisierung systeminterner Zustände und Aktivitäten (z.B. Gefühle);
- Variation des output; sowie
- Wahl der Verhaltensebene.

Haseloff /27/ und Birbaumer /8/ vermuten einen

engen Zusammenhang zwischen Motivation und der Aktivierung des ZNS über das unspezifische System.

Birbaumer /8/ fordert dagegen in seiner Definition der "intervenierenden Variablen", daß sie beobachtbar und meßbar sind.

Die interventierende Variable zwischen Lärmbelastung (input) und Beanspruchung durch Lärm (output) geht nach Jansen im wesentlichen auf IV- Prozesse zurück /79/.

Jansen /73/ schlägt für die Erforschung der Wirkung von Umweltfaktoren vor, das klassische "Reiz- Reaktionsmodell" durch ein "Moderatorkonzept" zu ersetzen, das "intervenierende Faktoren" berücksichtigt.

Eine kybernetische Analyse eines Systems mit intervenierender Variabler ist erst dann möglich, wenn quantitative Beziehungen zwischen Reiz, intervenierender Variable und Reaktion gefunden sind.

Ohne solche Beziehungen zu kennen, formuliert dagegen Stachowiak /138/ mit Hilfe allgemeiner Faktoren den Zusammenhang zwischen Reiz, Motivationslage und Reaktion aufgrund von Überlegungen von Frank/Steinbuch (vgl. /43/) und Cattell in einer "kybernetischen Theorie der Motivation".

Intervenierende Variable außer Motivation sind z.B. psychologische und physiologische Eigenschaften wie Emotion, Aufmerksamkeit, Gewöhnung, Sensibilisierung, Lernen, sowie weitere Faktoren bezüglich des Individuums oder der Umwelt /8/; /73/.

3.4. Das Aktivierungskonzept

In einigen älteren Untersuchungen wurde festgestellt, daß mit der Aufmerksamkeit bzw. Bewußtseinshelligkeit einige vegetative Reaktionen (GSR; EMG; Pulsfrequenz; u.a.) gut korrelieren.

Daraus wurde auf die Existenz eines allgemeinen Erregungszustandes geschlossen: der Aktivierung /125/.

Die Aktivierung wird, nach heutiger Ansicht, überwiegend vom reticulären System gesteuert. Das "aufsteigende reticuläre Aktivierungssystem" (ARAS) ist, neben den direkten (spezifischen) Verbindungen, ein alternativer Weg zwischen Sinnesorgan und Cortex. Während über den direkten Weg spezifische Informationen der Sinnesorgane zum Cortex gelangen, wird über den indirekten (reticulären) Weg nur eine unspezifische, diffuse Erregung großer Bereiche des Cortex erreicht /125/; /7/; /126/.

Die Grundlagen des Aktivierungskonzeptes lassen sich dann wie folgt beschreiben:

- Der Erregungszustand der Formatio Reticularis (FR) wird Aktivierung (arousal) genannt.
- Die FR kann aus verschiedenen Verarbeitungsebenen von Kollateralen der sensorischen Bahnen erregt werden (externe Aktivierung) oder auch vom Cortex aus (interne Aktivierung) /125/.

Ebenso wie durch Sinnesreize wird auch durch gedankliche Vorstellungen Aktivierung bewirkt /14/. Sanders /125/ (vgl. /168/) beschreibt Deprivationsexperimente, in denen der Organismus den Mangel an externen Reizen durch verstärkte interne Reize auszugleichen sucht, um ein bestimmtes Aktivierungsniveau (s.u.) aufrecht zu erhalten. Dies führt nach einiger Zeit zu starken Halluzinationen und anderen Störungen der IV.

Schönpflug /131/ formuliert eine "Theorie der optimalen Stimulation", nach der sich ein Organismus bei einer bestimmten (nicht näher definierten) Reizmenge wohlfühlt. Erhält er mehr Reize, so sucht er sie zu meiden oder zu vermindern, erhält er weniger, sucht er weitere Reize oder erzeugt sie ggf. selbst (vgl. /128/).

Wegen ihrer ausgeprägten Gewöhnungsfähigkeit an wiederholte und monotone Reize /117/; /18/ kommt Aktivierung eher durch Reizänderungen als durch die absolute Reizintensität zustande /125/; /92/.

Diese Gewöhnung (Adaptation) dient u.a. auch der Bereicheinstellung /82/.
Reizänderungen können bei der Änderung physikalischer Reizeigenschaften vorliegen, aber auch bei Änderungen der Bedeutung /125/; /7/; /15/.

Letzteres heißt, daß eine semantische Reizbewertung bereits vor der Aktivierung erfolgt (vgl. /125/).
Auch die Gewöhnung ist - im Gegensatz zur Weckwirkung - auf gespeicherte Information angewiesen und entsteht wahrscheinlich in den höchsten Zentren des Gehirns /50/.

Birbaumer /8/ folgert daraus (und aus einigen entsprechend aufgebauten Emperimenten), daß "die Existenz einer peripheren sensorischen Hemmung durch die FR nicht auszuschließen ist, die sensorische Hemmung im allgemeinen aber durch corticale Steuerung erfolgt".
Caspers /18/ vermutet die wichtigsten Selektionsmechanismen in thalamocorticalen Rückmeldereisen.

Eine besonders starke Aktivierung rufen also neue, unerwartete, besonders starke und bedeutungsvolle Reize hervor; solche Reize besitzen ein großes "Aktivierungspotential" /8/.
Dies kann in Selbstbeobachtung erlebt werden (vgl. /128/).

Hörmann /64/ zeigt, daß bedeutungshaltige Stimuli mehr arousal verursachen als ähnlich intensive, aber bedeutungslose Stimuli. Er vermutet, daß eine negative Bedeutung wiederum stärkere Aktivierung hervorruft, als eine positive.

Wechselnde Geräusche haben eine größere Aktivierungswirkung als monotone /125/; /168/; vgl. /112/; /128/; /7/, umsomehr, je häufiger und stärker die Wechsel stattfinden /128/; hochfrequente Geräusche eine größere als niederfrequente (Broadbent, 1957 /125/; /128/.

Sokolow /90/; /89/; /91/; /92/; /15/ unterscheidet für vegetative Aktivierungsreaktionen eine gewöhnungsfähige "Orientierungsreaktion" von einer nichtgewöhnungsfähigen "Defensivreaktion".

- Die Wirkung der Erregung kann sich auf zweifache Art äußern:
  1. durch einen allgemeinen "Weckeffekt" auf große Bereiche des Cortex; /8/; /125/; /18/
  2. durch eine selektive Beeinflußung verschiede-

ner Verarbeitungsebenen der spezifischen sensorischen Bahnen, insbesondere im Bereich des Thalamus /18/; /82/ vgl. /8/ ; /125/.

Hemmung der Aktivierung durch den Cortex ist als Schlafursache anzusehen, wobei der Wegfall äußerer Reize als begünstigender Faktor wirkt /117/; /8/.

Die selektive Beeinflußung der spezifischen sensorischen Bahnen ermöglicht, insbesondere bei Erregung durch den Cortex, eine bewußte, gerichtete Aufmerksamkeit auf bestimmte Reize (Aufmerksamkeitszuwendung). Trotz dieser gerichteten Aufmerksamkeit wird die FR weiterhin von allen eintreffenden Reizen aktiviert /125/.

Wahrscheinlich gibt es bei den absteigenden Bahnen (vom Cortex aus) auch direkte Verbindungen, also nicht über die FR, zu Umschaltkernen, die eine Selektion ermöglichen /81/.

Besonders die allgemeine Weckwirkung der Aktivierung auf den Cortex läßt einen Zusammenhang zwischen Aktivierung und Leistung vermuten, sofern die Leistung eine Mitwirkung des Cortex verlangt.

Experimentell wurde für bestimmte /70/ Leistungen qualitativ ein U- förmiger Zusammenhang gefunden: Maximale Leistungsfähigkeit wird bei einem Punkt optimaler Aktivierung erreicht; sowohl "under-arousal" als auch "over-arousal" führen zu Leistungsminderung. Bei schwierigen und komplexen Leistungsanforderungen liegt der optimale Aktivierungspegel niedriger als bei einfach strukturierten /91/; /89/; /131/; /64/; /128/; 168/.

Das Aktivierungskonzept blieb in dieser Form nicht ohne Kritik.
Insbesondere scheinen bestimmte Läsions- und Schlafsituationen es nicht zu bestätigen /8/ und mit der letztgenannten leider nur qualitativen Aussage zum optimalen Aktivierungspunkt läßt sich durch Annahme von "over-arousal" oder"under-arousal" jedes Leistungsergebnis erklären /125/ vgl./168/.

Entsprechend gibt es auch einige Erweiterungen der Theorie, von denen zwei hier näher dargestellt werden: die
Filtertheorie und das Zusammenwirken von FR und LS (limbisches System).

Broadbent /125/; /168/ stellt den Prozeß der gerichteten Aufmerksamkeit durch ein gesteuertes Filter dar, das auf Signale mit hohem "Aktivierungspotial" ausgerichtet werden kann. Ähnlich kann ein hohes Erwartungsniveau (vgl. Erwartungstheorie, in 3.5.) für bestimmte Signale das Filter darauf ausrichten.
Die Filtertheorie gibt, zusammen mit der Aktivierungstheorie befriedigende Erklärungen für Aufmerksamkeitserscheinungen (z.B. Reaktionszeit), besonders bei Mehrfachsignalen und Doppelaufgaben /125/.

Das limbische System (LS) wurde in 3.3.2. bereits erwähnt.
Seine enge Verbindung mit der FR, sein Einfluß auf das vegetative System und seine wahrscheinlich erhebliche Mitwirkung an emotionalen Verhaltensweisen lassen vermuten, daß das LS wesentlich am Aktivierungsvorgang beteiligt ist.
Es scheint von besonderer Bedeutung für somatische Reaktionen auf psychische Vorgänge zu sein /117/, z.B. der Lästigkeit.
Über das Zusammenwirken von FR und LS gibt es z.Z. nur Vermutungen.
Birbaumer /8/ zitiert eine 2-arousal-Hypothese von Routtenberg (1968), die er als gelungenen Ordnungsversuch des vorhandenen Ergebnismaterials bezeichnet (Abb. 15).
Routtenberg geht aus von zwei Aktivierungssystemen S1 und S2, die beide "Wachheit" vermitteln können:

S1: FR bewirkt Antrieb, "Energieversorgung" (vgl. 128/), Reaktionsorganisation, Aversion

S2: LS bewirkt belohnungsmotiviertes Verhalten, Aufrechterhaltung "vegetativer" Mechanismus.

Beide Systeme wirken (indirekt) hemmend aufeinander, sind aber gemeinsam vom Hypothalamus aktivierbar. Bei mäßiger bis mittlerer Aktivierung wird meist S2 aktiv sein, bei starker Aktivierung eher S1, das dann über die Aversionsstrukturen im dorsalen Mittelhirn S2 hemmt /8/.

Damit ist auch eine von Wundt(1874) und später von Berlyne /8/ formulierte qualitative Abhängigkeit der positiven Verstärkung bzw. Aversion vom Aktivierungspotential zu erklären (Abb. 16): diese ergibt sich aus der Überlagerung der Wirkungen beider Systeme S1 und S2:

Einen ganz ähnlichen Verlauf fand Nesswetha /112/ für die Aktivierung über der Zeit bei mentaler Belastung.

Klosterkötter /91/; /89/; /92/ fand eine unterschiedliche Aktivierungsbereitschaft in Abhängigkeit vom bestehenden Aktivierungsniveau.

Das Aktivierungskonzept ist wohl die umfassendste Theorie zur Erklärung der Wachheit und der Aufmerksamkeit; zusammen mit der Filtertheorie ist es auch eine diskutable Grundlagen-Hypothese für die bewußt oder unbewußt gesteuerte Informationsselektion.

So einleuchtend das Konzept im Prinzip ist, so ist es doch in der Aussage noch recht vage, nur qualitativ und ermöglicht kaum die Vorhersage detaillierter Verhaltensweisen (vgl. /125/). Zudem besitzt es Eigenschaften einer qualitativen intervenierenden Variablen (vgl. 3.3.3.).

Auch ist die Aktivierung noch nicht definiert und wird je nach Fragestellung noch recht unterschiedlich ausgelegt /129/.

Ein unabhängiges Maß für den jeweiligen Aktivierungszustand einer VP und eine präzise formulierte Beziehung zwischen Reiz und Aktivierung sind vorerst die wichtigsten Untersuchungsziele,

um das Konzept besser anwendbar zu machen /125/.

3.5. Andere Konzepte

Nemecek /111/ postuliert Bewertungsprozesse während der im Gehirn ablaufenden akustischen Informationsverarbeitung, die dazu führen, daß Schallreize lauter oder leiser wahrgenommen werden, als es der tatsächlichen Schallintensität entspricht.
Solche Bewertungsprozesse können physiologischer oder psychischer Art sein.

Als Beispiel physiologischer Bewertungsprozesse werden genannt:

- Aktivierung (subjektive Lautstärke steigt = pos.)
- Orientierungsreaktion (pos.)
- selektive Wahrnehmung (pos./neg.)
- Adaptation (neg.)
- Habituation (neg.)
- Frequenzbewertung (pos./neg.)

Psychische Bewertungsprozesse können durch die Persönlichkeit des Individuums, die individuelle Bedeutung des Lärms, sowie durch die Situation bestimmt werden.
Wichtige Einflußfaktoren sind hier im besonderen:

- Introversion, Extraversion
- Ängstlichkeit
- Beachtung des Reizes
- Erwartung des Reizes
- Vorhersagbarkeit des Reizes
- Motivation
- Einstellung z.B. zu einer Lärmsituation

Besonders im Zusammenhang mit dem "Vigilanzeffekt" (s.u.) wurden alternativ zur Aktivierungstheorie im wesentlichen drei weitere Theorien zur Deutung von Aufmerksamkeitserscheinungen formuliert: die Hemmungs- bzw. Inhibitionstheorie, die Erwartungs- bzw. Expectancy-Theorie und die Signalentdeckungstheorie bzw. Signal-Detecting-Theory.

Diese Theorien werden wie folgt kurz vorgestellt, da sie spezielle Phaenomene u.U. besser erklären als die Aktivierungstheorie; sie besitzen aber nicht deren Allgemeingültigkeit.

Der Vigilanzeffekt tritt bei komplexen Aufmerksamkeitsleistungen auf und besteht in einem typischen Rückgang der Signalerkennungsleistung mit der Versuchszeit /125/, etwa entsprechend dem Diagramm nach Mackworth /125/ (Abb. 17).

In der Inhibitionstheorie, die auf Pawlow (1927 /168/) zurückgeht, wird angenommen, daß neutrale Signale die Reizaufnahme und - verarbeitung hemmen, während kritische Signale verstärkend wirken /125/. Auch eine "zentrale Ermüdung", z.B. durch "nachhaltige einseitige Beanspruchung eng umschriebener perzeptorischer Rindenbezirke" kann eine Hemmung verursachen (Pawlow /168). Nach heutigem Wissenstand erscheint die Inhibitionstheorie aber zur Erklärung von Aufmerksamkeitseffekten allein nicht ausreichend /125/; /168/.

Die Erwartungstheorie basiert auf der experimentell bestätigten Tatsache, daß die Reaktionsbereitschaft auf ein Signal von dessen Auftrittswahrscheinlichkeit abhängt, mithin auch von dessen Informationsgehalt /168/.
Sie bietet aber keine Erklärung für den Einfluß der Motivation und der Art der Signaldarbietung /168/; /125/.
Sanders /125/ schlägt vor, die subjektiven Auftretenswahrscheinlichkeiten von Signalen als einen Ausdruck der Erwartung anzusehen.

Aus einer ganz anderen Betrachtungsweise der statistischen Entscheindungstheorie, entstammt die Signalentdeckungstheorie, die auf Tanner zurückgeht vgl. /145/; /125/; /168/; /64/.

Die Entscheidung besagt, ob ein Signal wahrgenommen wird oder nicht: Entweder liegt ein Signal vor, das sich aus einem Rauschen abhebt, oder es liegt kein Signal vor, also nur Rauschen.
Signal und Rauschen sind in diesem Entscheidungsprozeß zwei sich überlappende Normalverteilungen; der Abstand ihrer Mittelwerte ist das Empfindlichkeitsmaß d´ (Abb. 18).

Oberhalb (= rechts) eines individuellen Entscheidungskriteriums ß wird die Entscheidung "Signal" getroffen.

Die Signalerkennungstheorie bietet durch die Unterscheidung der zwei für die Signalerkennung wichtigen Parameter d´und ß interessante Erklärungsmöglichkeiten für Aufmerksamkeitseffekte, z.B. für den Vigilanzeffekt und auch für individuelle Unterschiede ("vorsichtige" bzw. "großzügige" Einstellung der Entscheidungsgrenze ß). / 125/.
Bei der Deutung von Vigilanzexperimenten auftretende Unstimmigkeiten beseitigte Jerison /125/ in einer Erweiterung der Theorie durch die Unterscheidung einer "wachen", "vagen" oder "abgewendeten" Beobachtung.

Während die ersten Theorien, einschließlich der Aktivierungstheorie als physiologische bzw. psychophysiologische Theorien eingestuft werden können, ist die Signalentdeckungstheorie mit ihrer mathematisch-abstrakten Darstellung des Prozesses ohne Berücksichtigung physiologischer Gegebenheiten zur kybernetischen Auswertung geeignet.

3.6. Versuch einer Synthese

Wie am Schluß von 3.4. dargelegt, ist die Aktivierungstheorie die umfassendste Theorie zur Klärung der Wachheit und der Aufmerksamkeit. Es erscheint berechtigt, das Aktivierungskonzept als eine physiologische Grundlage der menschlichen IV anzusehen, insbesondere bezüglich der Informationsselektion.

Auch Haseloff /27/ meint, im Zusammenhang mit Motivationsvorgängen, die Aktivationstheorie biete sich zur baldigen Einziehung in kybernetische Modelle an (1966).

Noch recht unklar, aber nach Sanders /125/ (vgl. 3.4.) wichtiges Untersuchungsziel ist eine genauere Beziehung zwischen Reiz und Aktivierung. Hier kann ein Informationskonzept ansetzen.

Die Vielzahl qualitativer Hinweise auf eine solche Beziehung (vgl. 3.4.) lassen sich in folgendem hypothetischen Konzept zusammenfassen:

Eine Aktivierung durch akustische Reizung wird durch zwei Reizkomponenten hervorgerufen:

-die akustischen Reizeigenschaften (Lautstärke, Tonhöhe) /128/; 125/;

-die informationellen Reizeigenschaften syntaktische Information (Struktur und -änderungen) und semantische/pragmatische Information (vgl. /8/;/7/; /125/; /92/; /168/;/112/; /128/.

Einige Hinweise sprechen dafür, daß die informationelle Reizkomponente einen größeren Einfluß auf die Aktivierung hat.

Insbesondere ist das die Gewöhnungsfähigkeit der Aktivierung an wiederholte oder monotone Reize /117/; /18/ .

Wenigstens für solche Reize kann gezeigt werden, daß die Aktivierung (qualitativ) dem sinkenden Informationsfluß folgt und nicht der gleichbleibenden Intensität.

Einen wichtigen Einfluß auf die Aktivierung haben Lautstärkeänderungen /125/; /92/;/128/; /168/; /112/: Auch diese lassen sich leicht durch informationelle Parameter beschreiben (syntaktische Information), wahrscheinlich leichter als durch akustische Einwertangaben.

Es erscheint möglich, die Aktivierung mit den "Kosten" (Aufwand) der Reizverarbeitung in Beziehung zu setzen.
Die "Kosten" für die Verarbeitung akustischer Reizeigenschaften lassen sich vielleicht durch die Zahl der benötigten Nervenfasern ausdrücken. So kann eine akustische Nervenfaser nur Signale sehr geringer Intensität und (wegen der Refraktärzeit) von einer Frequenz $f < 1000Hz$ übertragen /105/. Signale größerer Intensität oder höherer Frequenz benötigen mehr Nervenfasern; dies sind aber auch Signale, die eine größere Aktivierung hervorrufen.
Die "Kosten" für die Verarbeitung informationeller Reizeigenschaften entstehen erst auf höherer Verarbeitungsebene:
Für die syntaktische Information etwa zwischen den Trapezkörpern und dem hinteren Kniehöcker, also im Bereich des 2. Neurons der akustischen Reizleitung (vgl. 3.3.2.);
für die semantische/pragmatische Information erst im Cortex.
Aus Hinweisen von Glaser /50/, daß Gewöhnung "in den höchsten Zentren des Gehirns" (=Cortex) entsteht und aus dem Umstand, daß es auch - oder besonders - eine Gewöhnung an Strukturen (syntaktische Information) gibt, ist zu entnehmen, daß die syntaktische Information zwar wohl in dem genannten Bereich analysiert wird, die Verarbeitung aber doch, mindestens zum Teil, im Cortex erfolgt.
Überwiegend werden die "Kosten" informationeller Reizeigenschaften, durch die Verarbeitung im Cortex entstehen.

Die Erregung der FR würde bezüglich der beiden Reizkomponenten demnach aus unterschiedlichen Richtungen erfolgen:
Bezüglich der akustischen Eigenschaften und der Analyse syntaktischer Information von Kollateralen der aufsteigenden spezifischen Reizbahn;
Bezüglich der Verarbeitung syntaktischer, semantischer oder pragmatischer Information über die rücklaufende (absteigende) Bahn vom Cortex.
Diese absteigenden Bahnen vom Cortex, die z.T. auch direkt auf entsprechende Umschaltkerne einwirken, übernehmen nach Birbaumer /8/ und Caspers /18/ die wichtigsten Selektionsfunktionen.

Die in der Erwartungstheorie und der Inhibitationstheorie beschriebenen Verarbeitungseigenschaften lassen sich im Rahmen der informationellen Reizkomponente leicht erklären:
Unerwartete Reize mit entsprechendem Neuigkeitswert, sowie Reize von großer subjektiver Bedeutung besitzen einen größeren (syntaktischen bzw. pragmatische) Informationsgehalt und rufen insofern größere Aktivierung hervor.
Es folgt eine Überlegung, ob der Shannon'sche oder der Wiener'sche Informationsbegriff in diesem Zusammenhang anwendbar ist (vgl. 2.1.1.1.).
Dazu ein Bespiel eines syntaktischen Stimulus bestehend aus einer andauernden Tonfolge mit n = 4 verschiedenen gleichwahrscheinlich auftretenden Tönen:
Die Shannon'sche Information wird allein durch die Repertoiregröße und -verteilung der Nachricht bestimmt und beträgt in diesem Fall konstant H = ld 4 = 2 bit/Ton, solange die Nachricht eintrifft.
Die Wiener'sche Information entspricht dem Lernprozess des Empfängers; sie ist stets kleiner als H = 2 bit/Ton und geht auf Null zurück, sobald der Empfänger sicher weiß, daß diese Nachricht nur aus diesen 4 gleichwahrscheinlichen Tönen besteht. Die informationelle Akkommodation ($P_{subj.} \rightarrow h_{obj.}$) (vgl. 2.1.2.) ist dann abgeschlossen und die Nachricht vermittelt dem Empfänger keine weitere neue Information mehr. (statisch: $I_w = I_{s2} - I_{s1}$).

Bei einer Nachricht, die verzögerungsfrei einsetzt (direkt mit H_S max) und einem verzögerungsfreien Empfänger (Lerngeschwindigkeit $v_L = \infty$; Lernzeit $T_L = 0$) ergibt sich dann der in Abb. 19 a dargestellte Verlauf.

Es ist zu erkennen, daß der Zeitverlauf der Wiener'schen Information quantitativ etwa die erste Ableitung des Shannon'schen Informationsverlaufes darstellt. Dies sei in folgendem Ansatz ausgedrückt:

$$H_W(t) = H_S'(t) \qquad (14)$$

Drei Umstände sind für das genannte Beispiel weiter zu berücksichtigen:

1. Der menschliche Empfänger hat keine unendliche Lerngeschwindigkeit ($v_L \neq \infty$; $T_L > 0$), ist also nicht verzögerungsfrei. (vgl. 2.2.2.3.). Dann gilt:

$$T_L \cdot H_W''(t) + H_W(t) = H_S'(t) \qquad (15)$$

und es ergibt sich ein Zeitverlauf entsprechend Abb. 19 b.

2. Die Tonfolge setzt nicht gleich mit H_S max ein, da das Repertoire n = 4 frühestens nach dem 4. Ton bekannt sein kann. Dieser schnellste Fall tritt dann ein, wenn bei den ersten 4 Tönen keine Tonwiederholung vorkommt.
   Der Zeitverlauf der Information entspricht dann dem Abb. 19 c.

3. Zu der Shannon'schen Information ist noch eine konstante Geräuschinformation zu addieren, die besagt, daß überhaupt ein Geräusch eingesetzt hat.

Folgende Überlegung sei dazu hypothetisch formuliert:
Die Analyse der syntaktischen Information im Bereich des 2. akustischen Neurons (s.o.), in dem nach Glaser /50/ noch keine Gewöhnung auftritt, erstreckt sich auf die Struktureigenschaften der laufend eintreffenden Nachrichten:
Der Analysator ohne Gewöhnungsfähigkeit nimmt laufend die Entropie oder Shannon'sche Information der eintreffenden Nachricht auf.

Im Cortex gibt es dagegen Gewöhnungserscheinungen, die sich auch auf konstante syntaktische Information (= gleichbleibende Struktur) auswirken. Reaktionen ruft hier eine Informationsänderung hervor, ein Obergang von einem Informationsniveau auf ein anderes. Dies entspricht dem Wiener'schen Informationsbegriff: Die IV mit Gewöhnungsfähigkeit stellt sich auf ein konstantes Informationsniveau ein (Negentropiengewinnungsprozeß) und reagiert auf eine Änderung des Informationsniveaus, so lange, bis diese in seine Ordnung (Negentropie) einbezogen ist. Dieses System ist lernfähig.

Sowohl der Shannon'sche als auch der Wiener'sche Informationsbegriff haben also zur Beschreibung der Verarbeitung syntaktischer Information im Menschen ihre Berechtigung. Nur das Experiment kann zeigen, welcher für die Aktivierung von größerer Bedeutung ist.

In diesem Zusammenhang soll das hypothetische Konzept der optimalen informationellen Stimulation (vgl. 2.2.3.) noch einmal aufgegriffen werden:

"In einem ganz bestimmten Bereich an Informationsfluß fühlt der Organismus sich wohl; erhält er zuwenig oder zuviel Information, empfindet er Unwohlsein als Langeweise bzw. Oberforderung" (2.2.3.).

Dieses Konzept wird bestätigt durch die von Sanders /125/ erwähnten Deprivationsversuche: Die zwanghafte "Eigenproduktion von Information" (Halluzinationen) über den Weg der Reflexion /141/ ist eine Regulationsanstrengung des Organismus, den optimalen Informationsfluß und damit einen günstigen Aktivierungsbereich wiederherzustellen. Eine solche Mindestaktivierung scheint erforderlich, um wichtige Funktionen (Bewußtsein?) zu erhalten.

Auch das von uns gelegentlich beobachtete laute Sprechen oder Singen von VPn während akustischer Experimente in einer schallarmen Kammer kann als eine solche Regulationsanstrengung gesehen werden, vielleicht bei Personen, deren Reflexion die dafür

benötigte Leistung nicht erbringt.

Eine weitere "Regulationsmöglichkeit" in einer solchen reizarmen Umgebung ist das Einschlafen; auch das wurde von uns gelegentlich beobachtet.

Nimmt man einen solchen Bereich an, in dem der eintreffende Informationsfluß günstig für eine angemessene Aktivierung ist und weiter, nach Schönpflug /128/, daß dieser günstige Aktivierungsbereich sich gleichsinnig mit der Komplexität der jeweiligen Tätigkeit (Schlaf: minimal) ändert, dann ergibt sich folgender Schluß in Bezug auf Umweltgeräusche:
Ein Umweltgeräusch erhöht, vorwiegend aufgrund seiner Information, das Aktivierungsniveau des Empfängers.
Das Geräusch ist erwünscht oder indifferent, wenn der momentane Aktivierungszustand des Empfängers für die momentane Tätigkeit dadurch nicht zu groß wird; tritt dieser Fall ein, ist das Geräusch unerwünscht und störend.
Dieses "unerwünscht und störend" wird offenbar auch als Lästigkeit erlebt.
Damit läßt sich in Anlehnung an Hawel /59/ wie folgt als Ansatz definieren:
Ein Schall erscheint lästig, wenn die durch ihn übermittelte Information nicht mit dem momentanen Informationsbedürfnis des Empfängers übereinstimmt.

Abschließend sei folgendes festgestellt:
Dieses "Informationskonzept" ist als Erweiterung und Konkretisierung der Aktivierungstheorie gedacht. Es ist eine Hypothese, die phaenomenologische Effekte mit neuen Begriffen in einer vorhandenen Theorie zusammenbringt.
Der Ansatz ist noch nicht kybernetisch; wohl bietet er durch die Anwendung des quantitativen Informationsbegriffes und (indirekter) quantitativ erfaßbarer Aktivierungsindikationen die Möglichkeit einer kybernetischen Auswertung. Der Ansatz bedarf experimenteller Bestätigung.

4. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG VON TEILASPEKTEN

Der Grundgedanke bei einer experimentellen Nachprüfung der Oberlegungen der letzten Kapitel ist, den vermuteten Zusammenhang zwischen der Geräuschinformation und der Wirkung dieses Geräusches auf den Menschen festzustellen.

Es gibt in der Lärmwirkungsforschung bereits eine große Anzahl Experimente über einen Zusammenhang mit akustischen Geräuschparametern, z.B. der Intensität und der Geräuschwirkung.
In Anlehnung an einen Teil dieser Untersuchungen wird hier als Meßgröße für die Geräuschwirkung die elektrische Hautwiderstandsreaktion (GSR-Reaktion) verwendet, was in 4.2.3. noch ausführlicher begründet wird.

Es wäre also für diese Fragestellung zuerst ein Verfahren zu entwickeln, Geräusche mit definierter Information herzustellen, die in Versuchsreihen dann Testpersonen angeboten werden.
Dies ist nach den Oberlegungen aus 2.2.3. möglich und wird in 4.2.2. beschrieben.

Einige allgemeine Vorbemerkungen über Experimente dieser Art werden diesen Versuchsbeschreibungen vorangestellt.

4.1. ALLGEMEINE VORMERKUNGEN ZU AKTIVIERUNGSEXPERIMENTEN

Läßt man bei der Frage nach den Wirkungen von Geräuschen auf den Menschen die "lokalen" Wirkungen am Sinnesorgan selbst, also die auralen Wirkungen (z.B. Lärmschwerhörigkeit) einmal außer acht, so darf nach den bisherigen Oberlegungen wohl angenommen werden, daß jede extraaurale Geräuschwirkung zunächst mit einer Aktivierung verbunden ist.

Das Ausmaß der Aktivierung ist dabei wahrscheinlich für den Grad der Geräuschwirkung entweder ursächlich oder zumindest von erheblicher Bedeutung. Entsprechend wurde mit der GSR- Reaktion eine Untersuchungsgröße gewählt, die nach bisherigem Kenntnisstand eng mit dem Grad der Aktivierung verknüpft ist, also etwa als Maß der Aktivierung durch den Stimulus aufgefaßt werden kann.

Als Aktivierung kann man, nach Schönpflug /129/, allgemein jeden Vorgang bezeichnen, in dessen Verlauf oder an dessen Ende eine Einheit in Funktion tritt. Im Bereich der Aktivierungsforschung /129/ wird dieser Begriff dagegen speziell im Sinne der in 3.2.2. dargestellten Aktivierungstheorie verwendet.

Als Aktivierungsexperimente werden hier, in Übereinstimmung mit z.B. Fahrenberg /33/ und anderen Autoren aus dem Bereich der Aktivierungsforschung, solche Experimente verstanden, in denen das Verhalten physiologischer Indikatoren dieser Aktivierung nach der Einwirkung geeigneter Stimuli untersucht wird.

Die gleichen Experimente, unter ähnlichen Gesichtspunkten betrachtet, werden z.B. von Birbaumer /8/ als psychophysiologische Messung bezeichnet. Die Bezeichnung Aktivierungsexperimente erscheint bei dieser Fragestellung aber angemessen, da die Auslösung eines meßbaren Aktivierungsvorgangs durch Geräusche nicht notwendig mit einer (psychischen) Emotion verbunden ist.

Aktivierungsexperimente können wegen der in 2.1.1. dargestellten typischen Eigenschaften biologischer Systeme nicht ohne Einschränkungen exakte Ergebnisse liefern. Mit kritischen Fragen nach der Aussagekraft von Ergebnissen aus Aktivierungsexperimenten haben sich mehrere Autoren auseinandergesetzt /129/; /68/; /33/; /54/; /52/; /8/; /53/. Die wichtigsten dieser Hinweise lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Kennzeichnung eines Stimulus entspricht meist nicht der Breite, in der dieser tatsächlich erlebt wird; es ist daher fraglich, ob der Stimulus überhaupt in der vom Versuchsleiter gewünschten Weise wirksam wird. Die unabhängige Variable des Stimulus sollte quantifizierbar sein; es muß eine eindeutige Beziehung zwischen den Skalentypen der unabhängigen und der abhängigen Variablen herstellbar sein /68/; /53/.

2. Unübliche, unphysiologische Situationen und Stimuli sind zu vermeiden:
   Für den Stimulus bedeutet das im allgemeinen, daß dieser in einem mittleren Bereich der physiologischen Wahrnehmungsbreite liegen sollte.
   Für die Situation stellt sich in diesem Zusammenhang die vieldiskutierte Alternative zwischen dem Feldexperiment einerseits, mit einer realitätsnahen Messung, z.B. Telemetrie in einer normalen Umweltsituation und dem Laborexperiment andererseits, mit dem der prinzipiellen Forderung nach einer reizarmen Umgebung und Ruhigstellung der Versuchsperson während der Messung, um eine Verdeckung der in Frage stehenden Reaktionen durch Artefakte zu vermeiden, Rechnung getragen wird.
   Während zur Zeit der hier durchgeführten Experimente (1974 - 1976) die Lärmwirkungsforschung noch weitgehend in Laborversuchen bestand, ist heute ein Trend zu Feldversuchen unverkennbar /25/.

3. Physiologische Daten sind primär Darstellungen von Prozessen, die dem somatischen Funktionieren dienen. Obgleich sie zweifellos häufig mit dem bewußten Erleben covariieren,

reichen sie doch allein im allgemeinen nicht zur Diskriminierung von Wahrnehmungen und Emotionen aus /53/; /8/.
Systemtheoretisch sind solche Meßwerte ein Abbild des Empfundenen nach einer unbekannten Abbildungsfunktion, zwischen Empfindung und Meßwert liegt ein Übertragungsglied unbekannter Funktion /126/.

4. Da Aktivierung ein sehr komplexer Vorgang ist, der durch verschiedenste, keineswegs gleichwertig und simultan auftretende physiologische Prozesse angezeigt wird, die zudem individuell sehr verschieden ausgeprägt sein können, halten einige Autoren die gleichzeitige Aufnahme mehrerer Indikatoren für sinnvoll oder auch für notwendig. /129/; /33/; /8/; /53/.

5. Das erstmals von Wilder (1931) formulierte, aber noch diskutierte Ausgangsproblem besagt, daß mit höherem Ausgangswert der Reaktionsgröße eine Reaktion in Richtung Vergrößerung der Meßgröße kleiner ausfällt und eine Reaktion in Richtung Verkleinerung der Meßgröße größer ausfällt.
Ob dies wirklich immer zutrifft, oder etwa nur in Grenzbereichen der Reaktionsgröße, ist nicht bekannt und wohl auch nicht bei allen Reaktionsgrößen einheitlich.

   Unabhängig vom biologischen Prinzip gibt es verschiedene mathematische Verfahren Rohmeßwerte zu normieren und dabei eine Ausgangswertabhängigkeit zu berücksichtigen.

   Bei der hier verwendeten Meßgröße GSR- Reaktion ist eine Prozentwertbildung üblich, bei der die Reaktion als Prozentwert des Ausgangswertes dargestellt wird.

Dies kommt, da die GSR- Reaktion in Richtung auf eine Verkleinerung der Meßgröße läuft, der Aussage des Ausgangswertprobleme entgegen.

Guski /53/ zeigt allgemein anhand von Studien mit Zufallszahlen, willkürlich erzeugten Prozentwerten und realen Daten Nachteile dieses Verfahrens auf: Der Prozentscore ist eine lineare Transformation im intraindividuellen Bereich, interindividuell gesehen jedoch nicht-linear wegen der Verschiedenheit der Ausgangswerte, dies besonders bei "Ausreissern". Daraus resultiert, daß die interindividuelle Häufigkeitsverteilung sich stark von einer Normalverteilung unterscheidet, verursacht - bei realen Daten - u.U. durch einige wenige "Ausreißer".

Das Ausgangswertproblem ist nicht ganz befriedigend lösbar und stellt daher eine schwer abschätzbare Fehlerquelle dar.

Mindestens sollten durch geeignete Gestaltung der Versuchspläne die Ausgangswerte möglichst konstant gehalten werden.

Notwendig ist zudem eine klare methodische Aussage zum Ausgangsproblem /8/; /33/; /53/.

6. Das Problem der erheblichen individuellen Reaktionsunterschiede muß berücksichtigt werden:

Während in vielen Untersuchungen die individuellen Unterschiede durch den Einsatz vieler Versuchspersonen und großer Versuchsreihen ausgemittelt werden sollen, befürchten andere Autoren dabei systematisch Fehler durch Nivellierungen und Verzerrungen. Diese befürworten dann statt breiter interindividueller Untersuchungen wegen der geringeren Anzahl von Störgrößen eher intraindividuelle Verlaufsanalysen.

Wenigstens sollte ein Querschnitt von Versuchspersonen bezüglich Lebensalter, Geschlecht und Allgemeinzustand eine möglichst homogene Gruppe bilden /33/.

7. Gegen eine Längsschnittuntersuchung (intraindividuelle Verlaufsanalyse) spricht allerdings, daß die Orientierungsreaktion, also die Aktivierung durch äußere Stimuli, einer ausgeprägten Habituation unterliegt. Diese kann individuell und stimulusbedingt sehr unterschiedlich verlaufen und tritt nicht bei allen Aktivierungsdikatoren in gleichem Maße auf /68/; /50/.

8. Der Meßvorgang selbst soll die Meßwerte nicht verzerren; dies kann z.B. geschehen durch:
   - nicht-lineare Systeme in der Meßanlage (z. B. Meßfühler);
   - störende, stressauslösende Meßwertaufnahme.

   Die letztgenannte Verzerrung kann durch die Anwendung einfacher (unblutiger!) Meßverfahren, z.B. die Aufnahme bioelektrischer Größen und durch eine längere Gewöhnungszeit (ca. 2 mal 1 Stunde) an die Atmosphäre des psychophysiologischen Meßlabors während der Vorversuche vermieden werden /53/; /8/.

9. Nach Fahrenberg ist die Objektivität der Auswertung bei elektrophysiologischen Maßen stets gesichert; deren Zuverlässigkeit ist zumindest ausreichend zur Differenzierung verschiedener Aktivierungsgrade in demselben Individuum. /33/.

4.2. PLANUNG UND DURCHFÜHRUNG DES EIGENEN EXPERIMENTELLEN ANSATZES

4.2.1. DISKUSSION DER ALLGEMEINEN VORBEMERKUNGEN

Auch bei Beachtung der in den allgemeinen Vorbemerkungen aufgeführten Hinweise ist es wohl nicht möglich, in einem Aktivierungsexperiment die gleiche Eindeutigkeit und Aussagekraft zu erreichen, wie in einem physikalischen Experiment.

Diese Diskussion kann also nur darauf abzielen, im Rahmen der zeitlichen, räumlichen und apparativen Gegebenheiten durch eine geeignete Versuchsplanung die genannten Einschränkungen möglichst wenig wirksam werden zu lassen.

Für den Stimulus werden in 2.2.2. die theoretischen Voraussetzungen dargestellt, seine hier interessierende Eigenschaft "Information" zu quantifizieren. Die technische Realisierung wird im folgenden Absatz (4.2.2.) besprochen. Unter Berücksichtigung der Bemerkungen 1. und 2. lassen sich weitere Forderungen formulieren:

Damit die so gekennzeichnete Eigenschaft des Stimulus auch für dessen unterschiedliches Erleben duch die Versuchsperson möglichst weitgehend maßgebend ist, müssen alle übrigen Eigenschaften des Stimulus und der Situation während des Versuches möglichst konstant gehalten werden. Der Stimulus hat sich ferner in jeder seiner weiteren Eigenschaften (Lautstärkte, Tonhöhe, u.a.) in üblichen und mittleren physiologischen Bereichen zu bewegen.

Als Situation kommt wegen der Ansprechempfindlichkeit der GSR-Reaktion nur die reizarme Umgebung einer typischen Laborsituation mit Ruhigstellung der Versuchsperson in Frage. Gelegentlich (/17/ und einige Vorversuche) wurde auch versucht, die unwirkliche Laborsituation durch die Darbietung eines Hörspiels realitätsnäher zu gestalten. Dies ist grundsätzlich möglich, es müssen dabei aber hörspielbedingte Artefakte beachtet und durch die Auswahl eines geeigneten Hörspiels klein gehalten werden.

Einer ausführlichen Diskussion bedarf die Auswertung und Interpretation der Meßgröße GSR:

Im Rahmen dieser Untersuchung wird die Meßgrösse GSR als eigenständige Ausgangsgröße des zu untersuchenden Systems angesehen. Weitergehende Rückschlüsse auf die Intensität der subjektiven Lärmempfindung oder auch des generellen Aktivierungszustandes sind nicht vorgesehen: insofern ist hier wegen der technischen Gegebenheiten vorgenommene Beschränkung auf nur einen Aktivierungsindikator grundsätzlich zulässig. (zu 3. und 4.)

Ein gesicherter exakter Zusammenhang zwischen der Reaktionsintensität und dem Ausgangswert ist für die GSR nicht bekannt. Die Erfahrung aus zahlreichen Versuchsreihen der Lärmwirkungsforschung bestätigt aber zumindest für mittlere Bereiche qualitativ einen gleichsinnigen Zusammenhang.
Wegen der fehlenden genaueren Kenntnis dieses Zusammenhanges und - damit zusammenhängend - dem Fehlen besserer alternativer Auswertungsverfahren soll hier - wie bisher üblich - die Reaktion jeweils in Prozent des Ausgangswertes angegeben werden. Damit wird auch - wie oben gezeigt - qualitativ dem Ausgangswertproblem entsprochen.
Dieses übliche Verfahren erlaubt zugleich auch Vergleiche mit anderen ähnlich gewonnenen Ergebnissen aus der Lärmforschung, in denen z.B. ein Zusammenhang zwischen der GSR- Reaktion und der Geräuschintensität festgehalten wurde.

Der Einfluß der besonders bei "Ausreißern" auftretenden interindividuellen Nichtlinearitäten kann dadurch vermieden werden, daß solche "Ausreißer" durch besondere Rechenverfah-

ren aus der Auswertung eliminiert werden. Auch kann durch flexible Versuchspläne zur Konstanz der Ausgangswerte beigetragen werden. Günstig wirkt sich ferner aus, daß - wie in einigen Vorversuchen beobachtet - bei einer in Bezug auf das Lebensalter einigermaßen homogenen VP- Gruppe die Ausgangswerte sich ohnehin in relativ engen Grenzen halten. Eine durch die Homogenität der Gruppe bedingte geringere Generalität der Ergebnisse ist akzeptabel, da diese durch weitere Versuchsreihen mit ebenfalls homogenen Gruppen zu verbessern wäre.

Nicht nur auf die Konstanz der Ausgangswerte, auch auf die Breite der individuellen Reaktionsunterschiede wirkt sich, wie einige Vorversuche zeigten, die Wahl einer homogenen VP- Gruppe positiv aus. Ebenso ergaben Vorversuche, daß bei Verwendung von Stimuli geringer bis mittlerer Intensität wegen der ausgeprägten Habituationseigenschaften der GSR- Reaktion Längsschnittuntersuchungen (intraindividuelle Verlaufsanalysen) praktisch nicht möglich sind. Die schnelle Habituation muß dann durch geeignete Versuchspläne und durch eine ausreichende Anzahl VPn ausgeglichen werden.

Insgesamt läßt sich wohl feststellen, daß unter den vorgegebenen Bedingungen bei Beachtung der folgenden Voraussetzungen
- Stimuli mittlerer Intensität,
- homogene VP- Gruppe ausreichender Anzahl,
- ausgleichende und flexible Versuchspläne
- Prozentdarstellung der Reaktionen bezüglich des Ausgangswertes,

den Erfordernissen
- Berücksichtigung des Ausgangswertproblems (zu 5.),
- erreichbare Verminderung individueller Reaktionsunterschiede (zu 6.),

- Berücksichtigung der Empfindlichkeit und der Habituationsfähigkeit der GSR- Reaktion (zu 7.)

in ausreichender Weise Rechnung getragen wird.

Die Gefahr der Verzerrung von Meßwerten durch den Meßvorgang ist bei der Registrierung des Hautwiderstandes gering. (zu 8.). Es ist lediglich auf konstante Bedingungen beim Anlegen der Elektroden, am besten bei Verwendung von Elektrodenpaste und selbstverständlich auf konstante Meßspannung zu achten. Eine stressauslösende Meßwertaufnahme liegt bei diesem Verfahren nicht vor; die ungewohnte Laboratmosphäre soll durch ausführliche Erklärungen und längere Vorversuche vertraut gemacht werden.

4.2.2. HERSTELLUNG VON GERÄUSCHEN MIT DER VARIABLEN "INFORMATIONSFLUSS"

Die Darstellung einer quantifizierbaren Meßgröße "syntaktischer Informationsfluß" war das Ergebnis der Oberlegungen von 2.1.1.1. Ihre Anwendbarkeit auf Geräusche wurde in 2.2.3. diskutiert.

Zur Definition dieser Meßgröße sind folgende Geräuscheigenschaften von Bedeutung:
- eine bestimmte Anzahl n verschiedener Geräuschbestandteile (Repertoiregröße), aus deren zeitlicher Abfolge bzw. Zusammensetzung das Geräusch gebildet wird;
- die Häufigkeiten bzw. Wahrscheinlichkeiten h_i des Auftretens dieser Geräuschbestandteile;
- die durchschnittliche Folgegeschwindigkeit der Geräuschbestandteile.

Der durchschnittliche Informationsgehalt eines gesendeten Geräuschbestandteils (Zeichen) berechnet sich dann nach Gleichung 6 (2.1.1.1.).

$$\bar{I} = h_i \, ld \, \frac{1}{h_i} \quad (bit) \qquad (6)$$

bzw. bei Gleichverteilung der Zeichen (h_i = const.)

$$\bar{I} = ld\ n \qquad \text{(bit)} \qquad (7)$$

Der durchschnittliche Informationsfluß ergibt sich dann mit der Folgegeschwindigkeit f (1/s) zu

$$\bar{H} = f \quad h_i\ ld\ \frac{1}{h_i} \qquad \text{(bit/s)} \qquad (8)$$

bzw. bei Gleichverteilung zu

$$\bar{H} = f\ ld\ n \qquad \text{(bit/s)} \qquad (8a)$$

Ein über die Zeit konstantes Geräusch besitzt keinen syntaktischen Informationsfluß.

Um möglichst homogene Stimuli zu erhalten und damit Oberraschungsreaktionen innerhalb der Stimuli zu vermeiden, ist es sinnvoll, stets von der Gleichverteilung der Zeichen auszugehen; der durchschnittliche Informationsfluß berechnet sich dann nach (8a).

Am einfachsten läßt sich ein Geräusch mit der Variablen "syntaktischer Informationsfluß" duch Tonfolgen realisieren, die sich bezüglich der Anzahl verschiedener Töne (Repertoiregröße) und der Folgegeschwindigkeit variieren lassen (vgl. 3.1.3.).

Dabei ist es informationstheoretisch unerheblich, ob zwischen den Einzeltönen Pausen sind, oder die Töne direkt aufeinanderfolgen:
der syntaktische Informationsfluß wird dadurch nicht verändert. Die Argumentation für eine lückenlose Folge der Einzeltöne ist die bessere Homogenität des Stimulus; insbesondere kann der Schallpegel über die gesamte Dauer des Stimulus konstant gehalten werden. Dies ist von besonderer Bedeutung, da die sonst auftretende Eigenschaft der Impulshal-

tigkeit starke spezifische Reaktionen ("on-off") hervorruft.

Nach ersten Vorversuchen (vgl. 4.2.4.) zeigt sich, daß bei der Verwendung von Tonfolgen aus reinen Sinustönen Schwierigkeiten auftreten:
Die Versuchsperson versucht - wie aus Befragungen hervorgeht - in der Folge von Tönen eine Melodie oder zumindest Harmonien zu finden. Sind solche vorhanden, reduziert sich der subjektive - und damit der wahrgenommene - Informationsfluß der Tonfolge erheblich (vgl. 2.2.3.), obgleich sie sich objektiv syntaktisch nicht ändert. Daraus entsteht die Forderung nach vollkommen neutralen Geräuschkomponenten, die eine solche Informationsreduktion durch Assoziation mit bekannten Kombinationen ausschließen.

In weiteren Experimenten wurden folgende Geräuschkomponenten verwendet, die alle elektronisch erzeugt sind, um Assoziationen zu Alltagsgeräuschen gering zu halten und deren Kombination ferner so ungewöhnlich ist, daß auch hierzu Assoziationen praktisch ausscheiden:
- Weißes Rauschen (WR);
- Sinuston, f = 1.000 Hz;
- Wobbelton, f_m= 2.000 Hz, f = 200 Hz, f_w= 16 Hz;
- Schmalbandrauschen (SB), f_m= 500 Hz, f = 100 Hz;
- Schmalbandrauschen (SB), f_m= 4.000 Hz, f = 300 Hz;
- Wobbelton, f_m = 500 Hz, f = 200 Hz, f_w = 8 Hz.

Die Oberraschungswirkung durch die Ungewöhnlichkeit der Geräusche wurde durch ausführliche Vorversuche mit ähnlichen Geräuschen vermindert.

Die Begrenzung auf eine Repertoiregröße von 6 Zeischen erlaubt einerseits bei Gleichverteilung mit der noch gut wahrnehmbaren Folgegeschwindigkeit f = 4/s den interessanten Bereich bis zu einem Informationsfluß von etwa 10 bit/s abzudecken

(vgl. 2.2.2.1.), andererseits bleibt die Anzahl verschiedener Zeichen entsprechend den Aussagen von Pollack /114/;/115/ in einem Bereich, der noch eine sichere Identifizierung der einzelnen Zeichen verspricht. Dies besonders, als die Zeichen sich nicht nur durch eine Dimension, z.B. Tonhöhe, unterscheiden (vgl. 2.2.3.).

Für Geräusche mit geringerem Informationsfluß wurden auch weniger als 6 Zeichen verwendet; dabei war wegen der Homogenität und Vergleichbarkeit der Stimuli darauf zu achten, daß die durchschnittliche mittlere Tonhöhe aller Stimuli etwa konstant blieb.

Die Reihenfolge der 3 bis 6 verschiedenen Zeichen wurde durch eine "korrigierte Zufallsverteilung" festgelegt.
"Korrigiert" bedeutet dabei:
- die ersten Zeichen sind stets eine Abfolge des gesamten Repertoires in gleicher Reihenfolge;
- es wird darauf geachtet, ggf. durch Korrektur der Zufallsfolge, daß eine Gleichverteilung vorliegt, d.h. daß alle Zeichen gleich oft vorkommen.

Die Stimuli wurden dann auf folgende Weise hergestellt:
Bei vorgegebenem Informationsfluß und Repertoire berechnet sich nach Gleichung (8a) die Folgegeschwindigkeit f.
Aus der Folgegeschwindigkeit ergibt sich die Dauer eines Zeichens, die sich wiederum bei einer konstanten Bandgeschwindigkeit von 19,05 cm/s in entsprechende Tonbandabschnitte ganz bestimmter Länge umrechnen läßt.
Bei einer erreichbaren Schneidetoleranz von 1 mm lassen sich dann die Stimuli durch Kombination dieser Tonbandabschnitte mit einer Genauigkeit 1/1oo s herstellen.

Wegen dieser Genauigkeit wurde dieses relativ aufwendige Herstellungsverfahren gewählt (1.573 Tonbandabschnitte).

Die Verteilung der Zeichen erfolgt durch "Ziehung" der Abschnitte aus einem "Topf", der die vorgegebene Menge enthält (Gleichverteilung!)

Die 6 Geräuschkomponenten waren vorher mit konstantem A- bewerteten Pegel (nicht mit konstanter Aussteuerung) auf das Tonband aufgezeichnet worden. Eine Prüfung ergab einen befriedigend konstanten A- bewerteten Wiedergabepegel.

Alle Stimuli haben eine Dauer von 1 Minute.

Die so erzeugten Stimuli sind bezüglich des Parameters "syntaktische Information" als Sprung- bzw. Rechteckfunktion aufzufassen.

Um eine möglichst genaue Information über die Systemantwort zu erhalten, ist es sinnvoll, außer der Rechteckfunktion noch eine andere Funktion zum Test des Systems zu verwenden, z.B. eine ansteigende Funktion (Informationsfluß wächst mit der Zeit). Da bei einem biologischen System dieser Art im allgemeinen und speziell bei der Hautwiderstandsreaktion (vgl. 4.2.3.) am ehesten eine Antwort im Sinne eines PD- Verhaltens (proportional-differential) zu erwarten ist, ohne daß über die Verteilung P/D näheres bekannt ist, kann von einer quadratisch ansteigenden Stimulusfunktion eine größere Aussagekraft über das untersuchte System erwartet werden, als von einer linear ansteigenden Funktion, deren Ableitung (D- Verhalten) sich nicht systematisch vom P- Verhalten gegenüber einer konstanten Funktion unterscheidet (Abb. 20).

Ein Geräusch mit einem nach quadratischer Funktion mit der Zeit wachsenden Informationsfluß wurde anhand folgender Eckdaten berechnet und hergestellt:

Dauer	:	1 min
Repertoiregröße	:	n = 6
Informationsfluß (Beginn)	:	3,2 bit/s
Informationsfluß (Ende)	:	13,3 bit/s

Aus diesen Daten und der Forderung nach einer quadratischen Funktion wurde die mit der Zeit veränderliche Folgegeschwindigkeit, bzw. Zeitdauer, bzw. Länge der Tonbandabschnitte berechnet. Die Berechnung erfolgte nach einem eigenen einfachen Programm,auf einem programmierbaren Tischrechner.

4.2.3. OBERLEGUNGEN ZUR REAKTIONSGRÖSSE "GALVANISCHE HAUTWIDERSTANDSREAKTION" (GSR)

Mit den in 4.2.1. diskutierten Einschränkungen wurde entsprechend den technischen Gegebenheiten des Institutes die Hautwiderstandsreaktion GSR als Reaktionsgröße bestimmt.

4.2.3.1. DIE GSR ALS ORIENTIERUNGSREAKTION

Ein äußerer Reiz löst, wenn eine bestimmte Schwellenintensität überschritten ist, einen Komplex verschiedener physiologischer Reaktionen aus, der in seiner Gesamtheit nach Sokolov als Orientierungsreaktion bezeichnet wird /137/ /98/; /54/). Dazu gehören u.a. folgende Reaktionen:

- Typische Veränderungen im EEG;
- Hemmung der Magenperistaltik, Magensaftproduktion und Speichelsekretion;

- Stoffwechselsteigerung;
- Erweiterung der Pupillen;
- Ansteigen des diastolischen Blutdruckes;
- geringe Herabsetzung des Herzschlagvolumens;
- Veränderung der Atem- und Pulsrate;
- Herabsetzung der Hauttemperatur;
- vermehrte Ausscheidung von Katecholaminen und Ketosteroiden;
- Verstärkung der Muskelaktionspotentiale (EMG);
- Verengerung der Hautgefäße (Vasokonstriktion /69/;
- Herabsetzung des elektrischen Hautwiderstands (GSR).

Aus der Vielzahl dieser Reaktionen wurden die letzten zwei am Institut für Hygiene und Arbeitsmedizin bereits häufig für Forschungsvorhaben über Lärmwirkung systematisch ausgewertet. Eine ausführliche Begründung dieser Auswahl wird von Klosterkötter in /92/ gegeben; sie enthält zusammengefaßt folgende Kriterien:
- Praktikabilität im Hinblick auf Serienversuche und Zumutbarkeit;
- Höhe der Reizschwelle der jeweiligen Reaktion;
- versuchstechnischer Aufwand und vorhandene apparative Ausstattung.

Dabei sei das folgende Argument besonders hervorgehoben:
Es muß eine Reaktion aufgenommen werden, deren Messung so einfach und für die Versuchsperson unauffällig geschieht, daß nicht die Orientierungsreaktion auf den Meßvorgang (z.B. einer Blutentnahme) diejenige auf das Geräusch übertrifft.

Während Traxel /147/;/148/ die gute Korrelation der GSR mit der Stärke von Emotionen betont, sind andere Autoren neuerer Arbeiten hier zurückhaltender.
Sanders sieht in der GSR ein Maß für die unspezifische Erregung, unabhängig von der bewußten Wahrnehmung eines Signals /125/.
Nesswetha /112/ beurteilt die GSR als sehr komplexen Parameter, der bestenfalls eine mehr oder weniger gesicherte Korrelation zur Aktivierungsdynamik aufweist.
Fahrenberg /33/ beurteilt die Korrelation der GSR- Amplitude mit Variationen der Reiz- und Gefühlintensitäten dagegen günstiger.

Die "stressfreie" Abnahme der Meßgröße und die von Nesswetha /112/ formulierte, sehr kritische Mindestbasis lassen bereits bei vorsichtiger Betrachtung die Verwendung der GSR als Reaktionsgröße für die vorliegende Fragestellung interessant und sinnvoll erscheinen. Vorsicht vor einer Überinterpretation der GSR ist dabei sicher angebracht.

4.2.3.2. DIE ENTSTEHUNG DER GSR

Die menschliche Haut besitzt - zwischen zwei beliebigen Punkten gemessen - die Eigenschaft eines ganz bestimmten zeitabhängigen ohm'schen und kapazitiven Widerstandes (SRL - skin resistance level). Die Höhe dieses Widerstandes SRL unterliegt erheblichen inter- und intraindividuellen Unterschieden. Bei Gleichstrommessung (ohm'scher Widerstand) sind Meßwerte um 200...900 kOhm üblich.

Eine spontane Verringerung dieses Hautwider-

standes nach einer Stimulation durch verschiedenste Reize (Berührung, Licht, Temperatur, Schmerz, Schall, psychisch-emotionelle Stimuli u.a.) wird als galvanische Hautwiderstandsreaktion (GSR - galvanic skin response) bezeichnet. Andere Bezeichnungen sind SSR (skin resistance response) und GHR (galvanischer Haut- Reflex).

Das Phänomen der GSR ist schon seit etwa Mitte des 19. Jahrhunderts bekannt:
1875 fand Eulenberger einen verminderten SRL als Symptom der Basedow'schen Krankheit, 1988 entdeckte Fere´die GSR als Reaktion auf Sinnesreize /35/, 1890 beschrieb Tarchanoff bei Stimulierung von Versuchspersonen Potentialdifferenzen zwischen verschiedenen Hauptpunkten, die er auf Permeabilitätsänderungen spezifischer Membranen zurückführte /146/.
Danach wurden von verschiedenen Autoren ausführlichere weitere Untersuchungen mit der und über die Hautwiderstandsreaktion veröffentlicht. Ab etwa 1930 steht dabei die Korrelation der GSR mit emotionellen Zuständen im Vordergrund, erwähnenswert sind dazu besonders die Arbeiten von Traxel /147/: mit Hilfe der GSR versuchte er eine Möglichkeit zur objektiven Messung der Stärke von Gefühlen zu finden. Aus den Meßergebnissen und verbalen Beschreibungen der Gefühle stellte er eine entsprechende Intervallskala auf.

Die physiologischen Mechanismen, die die Entstehung der GSR bewirken, sind bis heute nicht genau bekannt.
Als Ursache für die Änderungen des Hautwiderstands wurden in der Literatur verschiedene Faktoren diskutiert:

- Muskelpotentiale;
  dies ist jedoch sehr unwahrscheinlich, da die Muskelpotentiale schneller ablaufen, nach Richter um den Faktor 10^3 /118/, die Latenzzeit um den gleichen Faktor kürzer ist und der Zeitverlauf wesentlich anders aussieht als der der GSR /157/.
- Hautdurchblutung;
  ein Zusammenhang mit der Hautdurchblutung kann ebenfalls verneint werden. Veraguth /150/, Prout /116/ und andere zeigten, daß sich auch bei Unterbrechung der Blutzufuhr eines Armes dort keine Änderung des Hautwiderstandes zeigte.
- Streßhormone;
  ein Zusammenhang der GSR mit den bei Streß freigesetzten Hormonen wird nach einer Literaturübersicht von Wang /157/ ohne Ausnahme verneint.
- Schweißdrüsentätigkeit;
  ein Zusammenhang der GSR mit der Schweißdrüsentätigkeit an der Meßstelle konnte jedoch in zahlreichen Experimenten nachgewiesen werden. So zeigen Personen, die keine Schweißdrüsen besitzen, nur eine minimale /118/ oder gar keine /156/ GSR.

Auch die Atropingaben hemmen die GSR /118/. Da die Schweißdrüsen sympathisch innerviert sind, ist eine Hemmung ihrer Tätigkeit durch Atropin nicht selbstverständlich. Atropin hemmt die cholinergen Synapsen, die normalerweise dem parasympathischen System zugeordnet sind /18/. Die Schweißdrüsen bilden hier aber eine Ausnahme: sie sind zwar von Fasern des Grenzstranges sympathisch innerviert, die postganglionären Fasern sind aber cholinerg und können daher von Atropin gehemmt werden.

Von Interesse ist auch der Umstand, daß der Hautwiderstand nur bei elektrischer Durchdringung der Haut auftritt: die innere Weiterleitung des Stroms zwischen den Meßstellen geschieht nahezu widerstandsfrei. Bei Punktionen an den Meßstellen sinkt der gemessene Widerstand auf etwa Null. Das hat zur Folge, daß die Lage der Meßstellen grundsätzlich ohne Bedeutung ist. Es hat sich allerdings wegen des prägnanteren Auftretens der GSR bewährt, als Meßstellen solche Hautregionen zu wählen, an denen die Schweißdrüsen besonders dicht angelegt sind, dies trifft z.B. für die

Innenflächen der Hände zu.

4.2.3.3. MERKMALE IM ERSCHEINUNGSBILD DER GSR

Der typische Zeitverlauf des Parameters GSR, wie er sich bei sehr zahlreichen Experimenten mit dieser Meßgröße immer wieder gezeigt hat, soll an zwei Beispielen aufgezeigt werden:

- Abb. 21 zeigt den Zeitverlauf der GSR auf einen impulsförmigen Stimulus (Näherung einer Stoßfunktion).
  Die GSR setzt dann typisch nach einer Latenzzeit (Totzeit) von etwa 1..3s als in der Regel monophasische /52/; /33/ Auslenkung ein, erreicht dann unter dem Bild einer Verzögerung 2. Ordnung ein Reaktionsmaximum und nähert sich im weiteren Verlauf wieder dem Ausgangswert.

- Abb. 22 zeigt den Zeitverlauf der GSR auf einen einsetzenden Dauerstimulus (Sprungfunktion).
  Nach einer sehr ähnlichen Latenzzeit verläuft die GSR zunächst qualitativ wie auf die Stoßfunktion; nach dem Reaktionsmaximum nähert sie sich aber asymptotisch einem Reaktionswert zwischen Ausgangswert und Reaktionsmaximum. Bei sehr schwachen Stimuli ist dies häufig wieder der Ausgangswert.

Die in Abb. 21; 22 gezeigten Zeitfunktionen lassen auf ein PD- Verhalten (proportional-differential) der untersuchten Systemfunktionen schließen. Ein solches Verhalten ist bei biologischen Systemen wie in 3.2. gezeigt häufig anzutreffen.

Eine wie in Abb. 21; 22 gezeigte Zeitfunktion kann im Einzelfall auftreten. Typisch ist sie aber nur, wenn über eine größere Anzahl von Reaktionen auf einen Reiz gemittelt wird.
Das bedeutet:

- Im Einzelfall kann der Reaktionsverlauf auch erheblich anders aussehen; z.B. treten häufig mehrere Reaktionsmaxima auf (bi- bzw. triphasischer Verlauf);
- Die typische Einzelreaktion zeigt nach einer Latenzzeit (Totzeit) einen plötzlich einsetzenden, steil abfallenden Hautwiderstandsverlauf (etwa Verzögerung 1. Ordnung).
  Der in der Abb. 21; 22 gezeigte weich einsetzende Hautwiderstandsabfall (etwa Verzögerung 2. Ordnung) wird im Einzelfall kaum beobachtet; vielmehr entsteht dieser Verlauf durch die Mittelung von Reaktionen mit unterschiedlicher Latenzzeit.

Unter den Indikatoren der Orientierungsreaktion ist die GSR einer der empfindlichsten, d.h. sie ist besonders geeignet zur Differenzierung einer Reaktion auf Stimuli geringer Intensität, aber auch besonders empfindlich gegen Artefakte /68/.

Wie bereits in 3.2. als charakteristisch für die Ausgangsgrößen biologischer Systeme beschrieben, sind für die GSR starke Streuungen typisch. Dabei wird zwischen interindividuellen Streuungen zwischen den Reaktionen verschiedener Versuchspersonen und intraindividuellen Streuungen zwischen verschiedenen Reaktionen einer Versuchsperson unterschieden.

Charakteristisch für die GSR als Orientierungsreaktion ist ferner eine ausgeprägte Habituationsfähigkeit, d.h. ein Nachlassen der Reak-

tionsintensität bei wiederholter Reizung mit gleichen oder ähnlichen Stimuli.

4.2.4. ERKENNTNISSE AUS VORVERSUCHEN

Zur Vorbereitung des Hauptexperimentes wurden einige Vorversuche durchgeführt. Diese lieferten an sich keine signifikanten Ergebnisse zur Fragestellung, sie waren auch,z.B. nach der Anzahl der Versuchspersonen , dafür nicht ausgelegt.
Ihr Sinn lag vielmehr darin, dem Versuchsleiter Erfahrungen mit Aktivierungsexperimenten zu vermitteln und die für diese Fragestellung neu entwickelten Stimuli (4.2.1.) auszuprobieren. Dazu waren z.B. Gespräche mit den Versuchspersonen nach den Versuchen ebenso aufschlußreich, wie die (qualitative) Beobachtung der gemessenen Reaktionen. Zugleich wurden die Versuchspersonen - im wesentlichen die gleichen wie im Hauptversuch - an die Neuerungen gewöhnt, so daß Oberraschungsreaktionen im Hauptexperiment nicht mehr zu erwarten waren.
Im einzelnen ergaben sich aus den Vorversuchen folgende für die Gestaltung des Hauptexperimentes verwertbaren Erkenntnisse:

1. Die verwendeten Stimuli sollten sich möglichst nicht für irgendwelche Assoziationen eignen, da diese den Informationsgehalt des Stimulus erheblich erhöhen oder vermindern können. In Gesprächen mit Versuchspersonen wurden als typische Assoziationen genannt:

- Melodien oder z.B. auch das Martinshornsignal bei Tonfolgen aus Sinustönen;
- Vergleiche mit Maschinengeräuschen oder z.B. mit einem Wecker oder mit Vogelgezwitscher bei Wobbelgeräuschen;
- Vergleiche mit Musik aus Science-Fiction-Filmen bei allen elektronisch erzeugten Geräuschen;
- Rundfunkstörungen bei Rauschen oder elektronisch erzeugten Geräuschen.

2. Die Reaktionen auf Geräusche mit systematisch variiertem Informationsfluß - und wohl überhaupt auf Geräusche im allgemeinen - sind stark von der augenblicklichen Tätigkeit der Versuchspersonen abhängig.

So fanden sich in einem Vorversuch charakteristische Unterschiede der GSR- Reaktion auf Tonfolgen mit variierter Repertoiregröße (1...10 Töne), bei sonst konstanten akustischen und zeitlichen Parametern, die einmal in ruhiger Umgebung um zum zweiten während eines Hörspiels dargeboten wurden (Abb. 23) /132/.
Auf eine genauere Auswertung dieses Ergebnisses wird verzichtet, da jeder Stimulus nur 80 mal (bei 20 Versuchspersonen) dargeboten wurde und die dargestellte Abhängigkeit "in Ruhe" mit dem besser abgesicherten Ergebnis des Hauptversuches nicht übereinstimmt.
Immerhin ist die hier gefundene Abhängigkeit von der Situation unter sonst gleichen Bedingungen auch ohne quantitative Auswertung bemerkenswert. Es kann darüberhinaus wohl angenommen werden, daß eine unterschiedliche Umgebung bzw. Tätigkeit generell die Aktivierungsreaktion auf Geräusche beeinflußt.
So fand Buschmann /17/ unter gleichen Rahmenbedingungen (Ruhe bzw. Hörspiel) signifikant unterschiedliche Reaktionen auf Flugzeuggeräusche.

Auch ein weiterer Vorversuch mit informationsvariierten Geräuschen bei verschiedenen Tätigkeiten wie "Zahlen ablesen","Uhr beobachten" oder "Zahlendiktat vom Tonband" zeigte sehr unterschiedliche Reaktionen auf die Geräusche unter diesen verschiedenen Bedingungen. Eine systematische Auswertung ließ sich auch hier noch nicht durchführen.

3. Weitere Vorversuche dienten der Suche nach einem Vergleichsstimulus neben dem akustischen Stimulus.

Da der Informationsfluß ein Maß ist, das sich im Prinzip auf jeden denkbaren Stimulus anwenden läßt, erscheint der Gedanke bestechend, falls eine Korrelation Informationsfluß/Aktivierungsreaktion gefunden werden kann, somit ganz verschiedene Stimuli bezüglich ihrer Wirkung durch eine gemeinsame Eigenschaft zu beschreiben. Um dieser Frage nachzugehen, sollte dieser Vergleichsstimulus im Hauptexperiment neben dem akustischen Stimulus untersucht werden.

Es lag nahe, als Vergleichsstimulus einen optischen zu wählen. Wesentliche Anforderung an den Vergleichsstimulus ist die präzise Beschreibbarkeit seines Informationsflusses. Dieser Anforderung wird z.B. ein "elektronischer Würfel" gerecht, der in einstellbaren Zeitabständen seine Anzeige ändert. Der selbst hergestellte "elektronische Würfel" besteht aus 7 Lampen in typischer Anordnung mit jeweils 2 möglichen Zuständen "ein"; "aus".
Daraus ergibt sich der Informationsgehalt pro Anzeige

$$I = 7 \text{ ld } 2 \quad \text{(bit)} = 7 \text{ bit}$$

Dieser Wert ist allerdings nicht realistisch. Da die Würfelbilder allgemein bekannt sind, werden sie idealerweise als Gestalt wahrgenommen, sodaß die Auswahl lediglich unter den 6 möglichen Gestaltbildern des Würfels erfolgt.
Der Informationsgehalt pro Anzeige vermindert sich dann auf

$$I = \text{ld } 6 \quad \text{(bit)} = 2{,}58 \text{ bit}$$

Der tatsächliche Wet wird zwischen diesen beiden Werten, aber deutlich näher am zweiten Wert liegen, sodaß eine Annahme von

$$I = 3 \text{ bit / Würfelanzeige}$$

wohl vertretbar erscheint.

Die abgelesene Anzeige ist auszusprechen.
Der Informationsfluß der Stimuli ist dann über die Zahl der Würfelanzeigen pro Zeiteinheit steuerbar.
Die Auswahl der Zahlenfiguren erfolgt über einen Zufallsgenerator.

Tatsächlich ergibt sich eine auf diese Weise durchgeführte Voruntersuchung an nur 10 Versuchspersonen mit so ermittelten Werten des Informationsflusses von
H= 1,43; 2,14 ; 4,29 bit/s
eine eindrucksvolle Abhängigkeit der GSR- Reaktion vom Informationsfluß des Stimulus (Abb. 24).
Um auch noch eine unwahrscheinliche aber mögliche Fehlerquelle durch eine Ableseunsicherheit des "elektronischen Würfels" auszuschalten, wurde das gleiche Experiment mit einem anderen, selbst hergestellten elektronischen Gerät wiederholt, das, ebenfalls gesteuert durch einen Zufallsgenerator, auf einer 2 cm x 5 cm großen Digitalanzeige Zahlen zwischen 1 und 6 (analog dem Würfel oder - umschaltbar - zwischen 0 und 9) anzeigt.

10 Versuchspersonen wurden 8 verschiedene Stimuli angeboten, 4 mit einem Repertoire von 6 Zahlen (1...6) und 4 mit einem Repertoire von 10 Zahlen (0...9). Dies war den Versuchspersonen jeweils bekannt.
Der Informationsgehalt eines Zeichens berechnet sich entsprechend zu

$$I = \mathrm{ld}\ 6 = 2{,}58 \text{ bit} \quad \text{für } n = 6 \text{ und}$$

$$I = \mathrm{ls}\ 10 = 3{,}32 \text{ bit} \quad \text{für } n = 10$$

Es ergaben sich damit folgende Werte für den Informationsfluß der Stimuli:

H = 1,23; 1,58; 1,85; 2,37; 3,69; 4,75, 5,17; 6,64 bit/s

Die Stimuli dauerten jeweils 1 Minute.
Das Ergebnis (Abb. 25) läßt wiederum auf eine deutliche Abhängigkeit der GSR-Reaktion vom Informationsfluß der Stimuli schließen.

Insgesamt schien sich das beschriebene Verfahren für die Vergleichsstimuli des Hauptexperimentes zu eignen. Nach kurzer Eingewöhnung wurde das Verfahren von den Versuchspersonen problemlos angenommen.

Es zeichnete sich hier aber bereits ab, daß die GSR-Reaktion auf den akustischen Stimulus bei gleichem Informationsfluß unter den beschriebenen Versuchsbedingungen geringer ausfallen würde, als auf den optischen Stimulus. Dies sollte im Hauptexperiment unter statistisch befriedigenden Bedingungen überprüft werden.

4.2.5. AUFBAU UND DURCHFOHRUNG DES EXPERIMENTES

Bei dem als Hauptversuch bezeichneten Experime handelt es sich um ein Aktivierungsexperiment, in dem der Einfluß des Informationsflusses bei optischen und akustischen Stimuli auf die GSR als Maß des Aktivierungsgrades untersucht wird.

Das Experiment wurde - wie auch die Vorversuche - in einer reflexionsarmen Versuchskammer (ca. 10 m^2) des Institutes für Hygiene und Arbeitsmedizin (Direktor Professor Dr. med. W. Klosterkötter) am Klinikum der Universität Essen durchgeführt).

Angeboten wurden 19 Stimuli von je 1 Minute Dauer: die Stimuli 1 bis 8 und 17 mit dem in 4.2.4. beschriebenen elektronischen Zifferanzeigegerät, die Stimuli 9 bis 16 und 18 als akustische Stimuli wie in 4.2.2. zuletzt beschrieben und anstelle des Stimulus 19 wurde kein Stimulus gegeben, die Aus-

wertung aber so durchgeführt, als wäre dort ein Stimulus gewesen (Leerversuch).
Die Stimuli 1 bis 8 und 9 bis 16 sind jeweils gleichartig bis auf den variablen Informationsfluß. Der Stimulus 18 enthält einen quadratisch anwachsenden Informationsfluß im Bereich von 3,2...13,3 bit/s (wie in 4.2.2. beschrieben), der Stimulus 17 wurde über eine entsprechende Ansteuerung des Ziffernanzeigegerätes (über ein Tonband mit Schaltstreifen) in einem analogen Verlauf des Informationsflusses im Bereich 1,58...6,64 bit/s gestaltet.

Das Vorgehen bei der Herstellung der Stimuli 17 und 18 sei im folgenden kurz erläutert:
Gesucht ist ein innerhalb von zwei Eckwerten H_{min} und H_{max}, bzw. H_o und H_{60s} innerhalb der Zeitdauer von 60s quadratisch ansteigender Verlauf des Informationsflusses H, der sich durch folgende Gleichung beschreiben läßt:

$$H_{(t)} = a t^2 + b \qquad (16)$$

Mit den vorgegebenen Eckwerten H_o und H_{60s} läßt sich die Gleichung wie folgt auflösen:

1. $H_o = b$

2. $H_{60s} = a\ (60s)^2 + H_o$

Daraus folgt

$$a = \frac{H_{60s} - H_o}{3600\ s^2} \qquad (17)$$

womit sich die Gleichung nun mit bekannten Grössen Punkt für Punkt berechnen läßt

$$H_{(t)} = \frac{H_{60s} - H_o}{3600\ s^2}\ t^2 + H_o \qquad (18)$$

Eingesetzt wurden für den Stimulus 17 die Eckwerte
H_o = 1,58 bit/s; H_{60s} = 6,64 bit/s

für den Stimulus 18 die Eckwerte
H_o = 3,2 bit/s; H_{60s} = 13,3 bit/s.

Analog lassen sich nun die Zeitabstände für die Zahlendarbietung (Stimulus 17) bzw. für die Tonfolge (Stimulus 18) berechnen.

Die Daten der 19 Stimuli sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Es fällt auf, daß der Informationsfluß eines optischen Stimulus immer halb so groß gewählt wurde, wie der des vergleichbaren akustischen Stimulus. Die Begründung liegt darin, daß zunächst angenommen wurde, beim Aussprechen der abgelesenen Zahl würde die Auswahl aus dem Sprachrepertoire noch einmal genau den gleichen Informationsverarbeitungsprozeß erfordern, wie das Ablesen. Diese Hypothese wurde wieder verworfen: das Aussprechen geschieht nach dem Erkennen der Zahl doch eher automatisch, d.h. ohne weiteren Informationsfluß. Da außerdem auch bei dem akustischen Stimulus nur die Signalinformation und nicht evt. weiter erforderliche Prozeßinformation berücksichtigt wurde, erscheint diese Änderung auch aus Gründen der Vergleichbarkeit der Stimuli erforderlich. Eine verminderte Beurteilbarkeit des Ergebnisses ist durch die nun ungleichen Zahlenwerte nicht zu erkennen.

Wegen der ausgeprägten Habituation der GSR-Reaktion bei Wiederholungen gleicher Stimuli kommt der Stellung des einzelnen Stimulus im Versuchsverlauf besondere Bedeutung zu. Es müssen deswegen Versuchsablaufpläne so gestaltet werden, daß zumindest die mittlere Stellung eines Stimulus im Versuchsablauf etwa für alle Stimuli die gleiche ist. Optische und akustische Stimuli wurden gemischt, aber

nicht gleichzeitig angeboten, so daß die VP nicht wußte, ob der nächste Stimulus ein optischer oder akustischer war.

Die Verteilung der Stimuli innerhalb der Versuchspläne erfolgte durch systematische Variation so, daß

- in einer Sitzungshälfte entweder die Stimuli 1 bis 4 und 9 bis 12, sowie 18 (Einstellung des Repertoires des optischen Stimulus: n = 6),oder die Stimuli 5 bis 8 und 13 bis 16, sowie 17 (Einstellung des Repertoires des optischen Stimulus: n = 10) vorkommen konnten; der Stimulus 19 konnte immer vorkommen;
- jeder Stimulus in jeder Position (1 bis 5) des Ablaufes einer Sitzungshälfte auftrat, insgesamt gemittelt sich aber möglichst genau ein mittlerer Positionswert ergab.

Unter diesen Bedingungen wurde für jede VP ein individueller Versuchsplan hergestellt (Tab. 2)

Insgesamt wurden 24 VPn in je 6 Sitzungen mit je 8-10 Stimuli untersucht. Jede Sitzung dauerte ca. 45 min. und enthielt etwa in der Mitte eine kurze Pause mit einem Gespräch mit der VP und der Umschaltung des Repertoirebereiches des Ziffernanzeigegerätes. Die Gesamtzahl der angebotenen Stimuli betrug pro VP 57, insgesamt als 1.368, d.h. jeder Stimulus wurde 72 mal angeboten, bzw. 3 mal pro VP.

Das Kollektiv der 24 VPn war durch die erwähnten Vorversuche und auch durch andere Versuchsreihen des Institutes an die Versuchssituation in der reflexionsarmen Kammer gewöhnt und mit den speziellen Stimuli dieser Versuchsreihe vertraut. 9 der VPn waren männlich, 15 weiblich, das Durchschnittsalter lag bei 22 Jahren.

Die Messung des elektrischen Hautwiderstandes erfolgte über 2 zylinderausschnittförmige Fingerelektroden mit je ca. 12 cm^2 großer Metallfläche, die am Zeige- und Ringfinger auf der Innenfläche der linken Hand angebracht wurden. Die VP wurde angewiesen die Hand ruhig zu halten.
Das Meßgerät der Firma Rhode&Schwartz erzeugte eine Meßspannung von ca.5 V Gleichstrom.

Der gemessene Hautwiderstand wurde kontinuierlich mit einem Schreiber auf Papier aufgezeichnet. Zusätzlich wurde der Wert im 1- Sekunden-Takt digital erfaßt und simultan auf einen Papierstreifen und auf 6 Kanäle eines 8-Kanal-Lochstreifens aufgezeichnet; die übrigen Kanäle 7 und 8 wurden dabei benötigt, um vor jeder Sitzungshälfte eine Codierung der Versuchsdaten zu markieren (Kanal 7), sowie um den Beginn eines Stimulus anzuzeigen (Kanal 8).

Zur späteren Auswertung gelangten nach sorgfältiger Oberprüfung nur die Lochstreifen. Die Papieraufzeichnungen dienten nur der Kontrolle und der Identifizierung extremer "Ausreißer" (Artefakte, z.B. durch starke Bewegung der VP, lockere Elektroden etc.). Diese sehr seltenen Ereignisse wurden bei der Korrektur der Lochstreifen "gelöscht".
(Oberstanzen des Startsignals).

Folgende Auswertung der Daten wurde über die Rechenanlage der Universität Bochum durchgeführt:

Nach jedem Startsignal eines Stimulus wurden die nächsten 110 Hautwiderstandswerte aufgenommen und zum letzten Wert vor Stimulusbeginn (100%) in prozentuale Beziehung gesetzt.

Das entspricht einer Verlaufsbeobachtung im Sekundentakt über 110 s, von denen die ersten 60 s der Stimulus einnimmmt, weitere 50 s als "Erholungsphase"bzw. zur Beobachtung evt. "Off-Reaktionen" dargestellt werden. Die Art des Stimulus war dem Rechner jeweils durch die vorhergehende Codierung bekannt. Sämtliche Verläufe über alle VPn wurden dann für jeden der Stimuli gemittelt. Das Ergebnis liegt als je eine Verlaufskurve über 110 s für jeden Stimulus in den Abb. 26 bis 30 vor.

Aufgrund der umfangreichen Vorüberlegungen wird davon ausgegangen, daß mit diesen Verlaufskurven mit bestmöglicher Näherung eine typische GSR- Reaktion auf den jeweiligen Stimulus dargestellt wird und damit ein Vergleich der Reaktionen im Hinblick auf die Variationen der Stimuli erfolgen kann.

4.3. ERGEBNISSE

Als Ergebnis der in 4.2. beschriebenen Überlegungen liegen nun für jeden der 19 Stimuli 110 gemittelte Hautwiderstands- Verlaufswerte im Sekundentakt ab Stimulusbeginn bis 50 s nach Stimmulusende vor.

Auf eine weitergehende Differenzierung des Ergebnisses, z.B. nach Alter, Geschlecht oder sonstigen Merkmalen der VPn, wurde bewußt verzichtet.
Einmal läßt die Anzahl und die Zusammensetzung der VPn eine solche Differenzierung nicht ohne weiteres zu, zum anderen war die aus der Fragestellung und vor allem aus den im folgenden beschriebenen Ergebnissen nicht als sinnvoll zu erkennen.

Die Ergebnisse sind graphisch in den folgenden Diagrammen dargestellt:

Abb. 26 für die Stimuli 1 - 8
Abb. 27 für die Stimuli 9 - 16
Abb. 28 für den Stimulus 17
Abb. 29 für den Stimulus 18
Abb. 30 für den Stimulus 19

Die exakten Zahlenwerte finden sich in den Tabellen 3 bis 21.

Zu den Ergebnissen ist folgendes im einzelnen festzustellen:

1. Der GSR- Verlauf zum Stimulus 19 ("Leerversuch") zeigt erwartungsgemäß keine Reaktion (Abb. 30).
   Im gesamten Verlauf, der sich zwischen den Werten 99.91...102. 7% bewegt, ist tendenziell ein geringer Anstieg zu bemerken.

2. Der Verlauf der GSR auf die optischen Stimuli 1...8 (Abb. 26) zeigt eine deutliche positive Abhängigkeit vom Informationsfluß des angebotenen Signals. Diese Abhängigkeit ist - aus den Zahlenwerten der Tabellen 3 bis 10 entnommen - in Tab. 22 und Abb. 31 noch einmal verdeutlicht.

   Dabei fällt auf, daß sich die Reaktionstiefe ebenso wie der gesamte Reaktionsverlauf zwischen 5.17...6.65 bit/s nur noch unwesentlich, jedenfalls unterproportional verändert. Da die meisten VPn sich in diesem Bereich auch bereits erheblich beansprucht fühlten, ist irgendein nicht näher zu bezeichnender Sättigungsprozeß innerhalb des Reaktionssystems als Ursache dieses Effektes anzusehen.

3. Ein weiterer interessanter Effekt ist dem GSR- Verlauf auf die optischen Stimuli zu entnehmen (Tab. 22):

   Ab einer gewissen Informationsbelastung, die anscheinend bei etwa 3.5-4 bit/s liegt, verlegt sich das Reaktionsmaximum in Richtung auf das Stimulusende, d.h. die Reaktion nimmt wärend der gesamten Stimulusdauer weiter zu.

   Nach medizinischer Terminologie könnte dies als Übergang einer kompensierten zur dekompensierten Reaktion bezeichnet werden. Physikalisch stellt sich dies als Übergang eines PD- Verlaufes über einen reinen P- Verlauf zum PI- Verlauf dar.

4. Der GSR- Verlauf auf die akustischen Stimuli zeigt sich dagegen nahezu konstant, d.h. unabhängig vom Informationsfluß des Stimulus. Dies findet sich auch in Tab. 23 und in Abb. 32, die wiederum die Reaktionsmaxima in Abhängigkeit vom Informationsfluß der Geräusche darstellen.

   Es findet sich eine nahezu konstante initiale Reaktion von 2-3% nach 4-7s auf alle Geräusche; eine weitergehende Abhängigkeit von der Variation der Stimuli ist nicht zu erkennen.

   Dieses Ergebnis überrascht und ist noch ausführlicher zu diskutieren.

5. Das gleiche Bild ergibt sich auch für den Stimulus 18 (quadratisches Anwachsen des akustischen Informationsflusses) (Abb. 29).

6. Von besonderem Interesse ist die Reaktion auf den Stimulus 17 (quadratisches Anwachsen des optischen Informationsflusses) - wenn auch nicht primär für die Fragestellung dieser Arbeit, da es sich nur um den optischen Vergleichsstimulus handelt.

   Es findet sich zunächst, bis etwa 30 s nach Stimulusbeginn ein Verlauf etwa wie auf die optischen Stimuli mit niedrigem Informationsfluß, d.h. initiale Reaktion entsprechend der Reaktion auf den Stimulus 5, der mit dem gleichen Informationsfluß beginnt.
   Bei dem gegebenen quadratischen Verlauf des Stimulus 17 steigt der Informationsfluß zunächst nur langsam an.
   Nach etwa 30s beginnt der Reaktionsverlauf auf Stimulus 17 sich von dem wieder langsam rückläufigem Reaktionsverlauf auf Stimulus 5 zu lösen. Der Informationsfluß der Stimulus 17 hat zu dieser Zeit nach Gleichung (18) den Wert $H_{30s} = 2{,}85$ bit/s erreicht.
   Nach etwa 40s zeigt sich eine progressive Zunahme der Reaktionstiefe bis zum Stimulusende. Der Informationsfluß H_{40s} beträgt nach Gleichung $H_{40s} = 3{,}83$ bit/s.

   Die Reaktion auf Stimulus 17 erreicht mit 9,5% nicht die gleiche maximale Reaktionstiefe wie die Reaktion auf Stimulus 8 mit 13,2%.

7. Eine "off-Reaktion", die im Einzelfall gelegentlich beobachtet wurde, zeigt sich in den gemittelten Reaktionsverläufen nicht.

Die hier dargestellten Ergebnisse werden im folgenden Kapitel im Rahmen der vorangegangenen theoretischen Überlegungen diskutiert.

5. DISKUSSION

Mit dieser Arbeit wird versucht, einen neuen Parameter zur Beschreibung von Geräuschen der Lärmforschung zur Verfügung zu stellen.

Nach Ausschöpfung des üblichen Rahmens einer solchen Arbeit muß festgestellt werden, daß das derzeitige Ergebnis nicht als Abschluß betrachtet werden kann, sondern viele weitere Fragen aufwirft, die nur durch weitere Untersuchungen geklärt werden können.

Aufgrund einer umfangreichen Literaturübersicht wurden zahlreiche Arbeitshypothesen formuliert, die vorläufig als Hypothesen stehenbleiben müssen, da ihre experimentelle Überprüfung in diesem Rahmen nicht möglich war.
Es ergibt sich aber doch aus diesem bewußt breit angelegten Basismaterial nach der Auswertung im theoretischen Teil dieser Arbeit ein Konzept, das eine weitere Verfolgung und Vertiefung lohnend erscheinen läßt.

Es konnte sicher durch die vielen Beispiele überzeugend belegt werden, daß der Parameter Information beim Entstehen einer Lärmempfindung eine erhebliche Rolle einnimmt und sich prinzipiell auch in bestehende Denkmodelle zur Lärmwirkung, insbesondere in das Aktivierungskonzept gut einbauen läßt.

Es konnten auch bei genauerer Analyse des untersuchten Systems und der Fragestellung prinzipielle Vorteile einer kybernetischen Betrachtung dargestellt werden.
Hier muß vor einer Diskussion der eigenen Versuchsergebnisse zugestanden werden, daß der experimentelle Teil dieser Ausführungen den im

theoretischen Teil formulierten Ansprüchen an eine kybernetische Analyse nicht genügt. Die Begründung liegt darin, daß das Ergebnis der experimentellen Untersuchung bezüglich der akustischen Stimuli eine weitergehende quantitative Auswertung nicht als sinnvoll erscheinen ließ. Andererseits hätte ein neuer experimenteller Ansatz den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.

Das Versuchsergebnis zeigte für die als Vergleichsstimuli herangezogene optische Zahlendarbietung eine Abhängigkeit der GSR-Reaktion vom Informationsfluß der Darbietung, wie sie qualitativ nach den theoretischen Überlegungen zu erwarten war, d.h. mit wachsendem Informationsfluß nimmt auch die Reaktion zu.

Überraschenderweise zeigte sich diese Abhängigkeit für den akustischen Stimulus nicht; im Gegenteil verlief die GSR-Reaktion auf die akustischen Stimuli mit eindrucksvoller Uniformität unabhängig von der Variablen "syntaktischer Informationsfluß".
Dies entspricht nicht der Erwartung und bedarf daher einer ausführlichen Diskussion:

Nach allen bisherigen Überlegungen erscheint es zulässig, die Hypothese von der Bedeutung der Geräuschinformation für das Entstehen einer Lärmempfindung weiter aufrecht zu erhalten. Unter dieser Voraussetzung gibt es für die konstante GSR-Reaktion auf Geräusche mit unterschiedlichem syntaktischen Informationsfluß folgende mögliche Erklärungen:

a. Innerhalb der Geräuschinformation ist die syntaktische Komponente kein für die Aktivierung relevanter Parameter.

Die syntaktische Informationskomponente wurde zur Variation des Stimulus ausgewählt, weil sie am präzisesten quantifizierbar ist. Es ist anzunehmen, daß die subjektive Information gegenüber der syntaktischen Information bezüglich der Aktivierung einen relativ hö - heren Stellenwert hat.
Andererseits erscheint es unwahrscheinlich, daß die Komplexität eines Geräusches, die ja letztlich durch das syntaktische Informationsmaß beschrieben wird, für die Aktivierung durch das Geräusch ganz unerheblich ist.

b. Es zeigt sich zwar eine unterschiedliche Aktivierung, die GSR- Reaktion hat aber nur einen konstanten Anteil davon angezeigt.

Dann wäre allerdings die Frage zu stellen, wieso sich die GSR- Reaktion mit dem Informationsfluß des optischen Vergleichsreizes so deutlich verändert hat.
Dafür gäbe es mehrere Erklärungen:

- Da der genaue Mechanismus der GSR- Reaktion nicht bekannt ist, können auch über den Zusammenhang Aktivierung - GSR-Reaktion keine eindeutigen Aussagen getroffen werden, die über die erwähnten empirisch festgestellten Eigenschaften der GSR hinausgehen. Eine Aktivierung auf bestimmte Reize ohne GSR-Reaktion ist somit denkbar.

- Im Gegensatz zu dem akustischen Stimulus, der passiv aufgenommen wurde, forderte der optische Stimulus eine aktive Mitwirkung durch Aussprechen der abgelesenen Zahl.
Durch die verschiedenen Leitungsbahnen für den optischen und den akustischen Reiz, aber besonders durch die unterschiedlichen

Anforderungen an die Verarbeitung der Information sind erhebliche Unterschiede im Grad der erzeugten Aktivierung denkbar. Die absolute Unabhängigkeit der Reaktion auf die akustische Strukturinformation wird dadurch allerdings nicht befriedigend erklärt.

Eine Entscheidung, welche Begründung für das unerwartete Reaktionsverhalten ursächlich ist, kann aufgrund der vorliegenden Informationen nicht getroffen werden. Rein hypothetisch wird vermutet, daß der unbekannte Wirkungsmechanismus der GSR-Reaktion den größten Unsicherheitsfaktor darstellt und daß die Antwort in diesem Komplex zu suchen ist. Klarheit kann aber nur durch weitere Experimente erreicht werden.

Aus den vorliegenden Ergebnissen der experimentellen Untersuchung lassen sich zusammenfassend folgende qualitative Erkenntnisse ableiten:

- Die einheitliche, relativ geringe Reaktion auf alle akustischen Stimuli ist als Orientierungsreaktion zu werten, die sich noch wärend des Stimulusverlaufes vollständig zurückbildet.
- Eine Änderung des syntaktischen Informationsflusses bei sonst konstanten akustischen Daten wird von der GSR-Reaktion nicht angezeigt, obwohl sie eine erhebliche Änderung der Geräuschcharakteristik und sicherlich auch der Störwirkung des Geräusches darstellt.
- Auf die dargebotenen abzulesenden Zahlen reagiert die GSR belastungsgleichsinnig; ein linearer Zusammenhang zwischen Reizinformationsfluß und GSR-Reaktionstiefe liegt nicht vor (Bild 31),
- weil auch hier wahrscheinlich zunächst eine etwa uniforme Orientierungsreaktion ausgelöst

wird, die von einer belästigungsabhängigen Reaktion überlagert wird, so daß bei sehr geringer Belastung die reine Orientierungsreaktion überwiegt und ein Bild ähnlich wie auf die akustischen Stimuli entsteht,

- weil sich im Bereich ≥ 5 bit/s ein "Sättigungseffekt" der GSR zeigt.
- Im Bereich H = ca. 3,5 bit/s geht die bis dahin PD-förmige Reaktion zunächst in einen P- Verlauf, später in einen I- Verlauf über. Der Schwellenwert von etwa 3,5 bit/s wird durch die Reaktion auf den Stimulus 17 im Prinzip bestätigt.
- Das Reaktionsbild auf Stimulus 17 zeigt qualitativ eine Oberlagerung einer Orientierungsreaktion und einer etwa quadratisch wachsenden Belastungsreaktion.
  Auf eine mögliche aber komplizierte weiterführende quantitative Diskussion wird hier verzichtet, weil der Stimulus nicht der eigentlichen Fragestellung entspricht.

Beim Versuch einer Wertung dieser Erkenntnisse läßt sich folgendes feststellen:

- Es hat sich herausgestellt, daß eine einzelne Versuchsreihe,wie hier beschrieben, sicher nicht geeignet ist auch nur einen Teilaspekt eines derart komplexen Systems mit den Anforderungen einer kybernetischen Analyse zu untersuchen. Zu viele komplizierte Faktoren (z.B. Oberlagerung einer Orientierungsreaktion, Nichtansprechen eines Reaktionsparameters),die erst für sich quantifiziert werden müßten, verhindern, daß das aus einer derartigen variierten Verlaufsserie bereits verwertbare quantitative Aussagen gezogen werden könnten.

Darüber hinaus ist im Sinne von Jansen /73/ zu fragen, ob eine Untersuchung eines derartigen partiellen"Reiz-Reaktionsmodelles" der komplexen, wahrscheinlich beidseits multifaktoriellen Reiz- Reaktionssituation, überhaupt gerecht wird.

- Dennoch sei diese Versuchsreihe mit ihren genannten Ergebnissen nachträglich als interessanter Vorversuch bezeichnet, der zu weiteren Untersuchungen anregen möge (s.u.). In der von Jansen /73/; /74/; /79/ formulierten Systematik interdisziplinärer Forschung würde ein solches Teilergebnis auf der ersten Stufe eines Vier- Stufen- Schemas des interdisziplinären Vorgehens zu finden sein.
- Für solche weiteren Experimente wird die Untersuchung auch anderer Aktivierungsparameter, möglichst bei simultaner multifaktorieller Auswertung dringend empfohlen. Gerade wo sich in dieser Diskussion Zweifel an der Aussagekraft der GSR-Reaktion für den gesamten Bereich der Aktivierung ergeben haben, ist die Einbeziehung weiterer Aktivierungsparameter umso wichtiger. Neuere Untersuchungen von Jansen /75/; /76/; /77/ haben insbesondere ergeben, daß sich die periphere Volumenpulsreaktion (Fingerpulsreaktion) für die Unterscheidung normaler und pathologischer Reaktionen besonders eignet. Dabei sollte eine computerunterstützte Versuchssteuerung und - auswertung, wie sie heute weithin üblich ist, dem Versuchsleiter zur Zeit dieses Experimentes aber noch nicht in erforderlichem Maß zur Verfügung stand, zur Anwendung kommen.

- Zur angesprochenen Frage der Labor- und Feldversuche wird hier die Meinung vertreten, daß für exakte quantitative Systemuntersuchungen weiterhin der Laborversuch mit seinen konstanten Umgebungsparametern und der größeren Darbietungspräzision der Stimuli unverzichtbar ist.
  Andere Fragestellungen, z.B. die Frage nach der Lästigkeit und Störwirkung von Geräuschen in Abhängigkeit von deren Informationsfluß sind möglicherweise besser im Feldversuch zu untersuchen.

Folgende weitere Untersuchungen werden aufgrund der hier diskutierten Oberlegungen zunächst vorgeschlagen:

- Einfluß der hier beschriebenen syntaktischen Geräuschinformation auf andere Aktivierungsparameter (z.B. Fingerpulsamplitude, EMG, EEG) bei möglichst multifaktorieller Ableitung (ggf. unter Verwendung der hier hergestellten Geräusche);
- subjektive Bewertung der Geräusche mit unterschiedlichem syntaktischen Informationsfluß;
- Versuch einer quantifizierten Variation der subjektiven Information und deren Wirkung auf Aktivierungsparameter. Dabei könnte, wie schon von Jansen vorgeschlagen wurde /80/, eine Rangreihe der Informationshaltigkeit von Geräuschen in Bezug auf die Störbarkeit aufgestellt werden.

Es soll abschließend festgestellt werden, daß der hier geäußerte Grundgedanke, die Information eines Geräusches bei der Bewertung dessen Lästigkeit und Störwirkung mit einzubeziehen bei Würdigung aller hier vorgelegten theoretischen und experimentellen Ergebnisse wei-

terhin mit Oberzeugung vertreten wird. Die gesamten Oberlegungen und Literaturauswertungen des theoretischen Teils dieser Arbeit haben einen solchen Ansatz als sinnvoll herausgestellt. Das Nichtansprechen eines Reaktionsparameters auf einen Teilsaspekt der Information ist keine Falsifizierung und kann somit nicht das gesamte Informationskonzept in Zweifel stellen.

Tatsächlich scheint die Lärmforschung bezüglich der Bewertung der Lästigkeit und Störwirkung von Geräuschen in einer Sackgasse zu stecken. Auch nach aktuellem Stand gibt es kein Verfahren, um mit hinreichender Genauigkeit Lärm zu messen. Auch mit immer komplizierteren Mittelungspegeln kann die objektive Bestimmung der frequenzbewerteten Schallenergie bestenfalls statistisch im großen Mittel eine Aussage über die Lärmbelästigung treffen. Im Einzelfall kann dies nicht gelingen, da eine Lärmempfindung viele, vielleicht sogar überwiegend subjektive Komponenten hat (1.1).

Es wird hier die Meinung vertreten, daß - wenn überhaupt - nur das Informationskonzept näher an eine individuelle Lärmbestimmung heranführen kann. Dazu möge diese Arbeit beitragen.

Tabelle 1: Daten der 19 Stimuli

Stimulus Nr.	Wahrnehmung	Repertoire n	Informationsfluß H (bit/s)
1	optisch	6	1,23
2	"	"	1,85
3	"	"	3,69
4	"	"	5,17
5	optisch	10	1,58
6	"	"	2,37
7	"	"	4,75
8	"	"	6,64
9	akustisch	3	2,5
10	"	4	3,7
11	"	5	7,4
12	"	6	10,3
13	akustisch	3	3,2
14	"	4	4,75
15	"	5	9,5
16	"	6	13,3
17	optisch	10	1,58...6,64
18	akustisch	6	3,2....13,3
19	-	-	0

Tabelle 2: Individuelle Versuchspläne für 24 Versuchspersonen

Versuchsteil: Stimulus-Nr.	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	VP1						VP2					
1	A9	B6	A4	B15	A17	B18	B7	A1	B16	A18	B17	A10
2	2	19	10	8	12	8	19	11	5	9	5	3
3	3	14	2	17	4	5	15	3	18	1	6	4
4	18	7	19	13	1	6	8	19	14	2	7	17
5	11	16	9	14	3	-	13	10	15	4	-	12
6	B8	A10	B5	A11	B14	A3	A11	B6	A12	B15	A4	B5
7	13	12	7	1	16	19	9	8	2	13	19	14
8	15	1	16	9	7	11	2	13	10	8	12	16
9	5	2	13	12	6	4	3	14	9	7	1	6
10	-	17	18	10	15	-	18	17	11	16	-	-

	VP3						VP4					
1	A2	B13	A17	B18	A11	B8	B14	A18	B17	A12	B5	A3
2	12	6	10	6	4	19	7	11	7	1	19	9
3	4	17	2	7	1	16	18	3	8	2	13	1
4	19	15	3	8	18	5	16	4	5	17	6	19
5	11	16	1	-	9	14	13	2	-	10	15	12
6	B7	A9	B16	A1	B6	A12	A10	B13	A2	B7	A9	B8
7	5	3	14	19	15	10	4	15	19	16	11	6
8	14	11	5	9	13	3	12	6	10	14	4	15
9	15	10	8	2	7	4	11	5	3	8	1	16
10	18	12	13	-	-	17	9	14	-	-	18	17

Versuchsteil: Stimulus-Nr.	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	VP5						VP6					
1	A17	B18	A1	B14	A12	B7	B17	A2	B15	A9	B8	A18
2	4	16	10	19	2	16	13	11	19	3	13	1
3	12	13	11	6	10	17	14	12	7	11	18	9
4	9	14	18	15	19	5	15	17	16	19	6	10
5	11	-	3	8	1	6	-	4	5	2	7	12
6	B6	A11	B16	A2	B13	A3	A12	B13	A3	B14	A4	B7
7	8	19	5	4	15	9	19	6	1	16	10	5
8	15	3	7	9	8	1	4	8	10	5	2	16
9	14	12	13	10	5	4	9	14	11	6	1	15
10	7	-	-	17	18	2	-	-	18	17	3	8
	VP7						VP8					
1	A3	B16	A10	B5	A17	B18	B13	A11	B6	A18	B17	A4
2	12	19	4	14	2	14	19	1	15	3	15	9
3	9	8	12	17	10	15	5	9	18	11	16	10
4	18	13	19	7	11	16	14	19	8	12	13	17
5	1	6	3	8	9	-	-	4	5	10	-7	2
6	B14	A4	B15	A1	B8	A9	A1	B16	A2	B5	A10	B15
7	7	2	13	11	6	19	3	14	12	7	19	8
8	5	11	6	3	13	1	12	7	4	14	2	6
9	15	12	7	2	16	10	9	8	3	13	11	16
10	-	17	18	4	5	-	18	17	1	6	-	-

Versuchsteil:	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Stimulus Nr.												
	VP9						VP10					
1	A12	B7	A1	B14	A19	B17	B8	A2	B15	A17	B19	A9
2	3	18	11	5	9	5	18	12	6	10	6	4
3	2	15	3	19	1	8	16	4	17	2	5	3
4	17	6	18	16	4	7	7	18	13	1	8	19
5	10	13	12	15	2	-	14	9	16	3	-	11
6	B5	A11	B8	A10	B15	A2	A12	B5	A11	B16	A3	B6
7	16	9	6	4	13	18	10	7	1	14	18	13
8	14	4	13	12	6	10	1	14	9	7	11	15
9	8	3	16	9	7	1	4	13	10	8	2	5
10	-	19	17	11	14	-	17	19	12	15	-	-
	VP11						VP12					
1	A3	B16	A19	B18	A10	B5	B13	A18	B19	A11	B6	A4
2	9	7	11	7	1	17	8	12	8	2	17	10
3	1	19	3	6	4	13	18	4	7	1	14	2
4	17	14	2	5	18	8	15	3	6	19	5	17
5	10	13	4	-	12	15	14	1	-	9	16	11
6	B6	A12	B13	A4	B7	A9	A9	B14	A1	B8	A10	B7
7	8	2	15	17	14	11	3	16	17	15	12	5
8	15	10	8	12	16	2	11	5	9	13	3	16
9	14	11	5	3	6	1	12	6	4	7	2	15
10	18	9	16	-	-	19	10	13	-	-	18	19

Versuchsteil: Stimulus Nr.	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	VP13						VP14					
1	A19	B17	A4	B15	A9	B6	B19	A1	B16	A10	B7	A17
2	1	13	11	18	3	13	14	12	18	4	14	2
3	9	16	10	7	11	19	13	11	8	12	17	10
4	12	15	17	14	18	8	16	19	15	18	5	9
5	10	-	2	5	4	7	-	3	6	1	8	11
6	B7	A10	B13	A3	B16	A2	A11	B14	A4	B13	A3	B8
7	5	18	8	1	14	12	18	5	2	15	9	6
8	14	2	6	12	5	4	3	7	9	6	1	15
9	15	9	16	11	8	1	10	13	12	5	2	16
10	6	-	-	19	17	3	-	-	17	19	4	7

	VP15						VP16					
1	A2	B13	A11	B8	A19	B18	B14	A12	B5	A18	B19	A3
2	9	17	1	15	3	15	17	2	16	4	16	10
3	12	5	9	19	11	14	1	10	18	12	15	9
4	18	16	17	6	10	13	13	17	7	11	14	19
5	4	7	2	5	12	-	8	3	6	9	-	1
6	B15	A1	B14	A4	B5	A12	A2	B15	A1	B6	A9	B16
7	6	3	16	10	7	17	4	13	11	8	17	7
8	8	10	7	2	16	4	11	8	3	13	1	5
9	14	9	6	3	13	11	10	7	4	14	12	15
10	-	19	18	1	8	-	18	19	2	5	-	-

Versuchsteil: Stimulus Nr.	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	VP17						VP18					
1	A12	B13	A18	B19	A4	B5	B14	A18	B17	A1	B6	A9
2	2	16	11	16	1	17	13	12	13	2	19	3
3	1	18	12	7	10	6	18	9	8	11	7	2
4	17	8	3	5	19	14	5	4	6	17	15	19
5	4	6	10	-	9	15	7	11	-	10	16	1
6	B7	A9	B6	A10	B16	A2	A10	B7	A11	B13	A3	B8
7	14	3	15	17	8	11	4	16	19	5	12	15
8	15	4	14	9	13	3	1	15	10	14	4	16
9	8	11	5	12	7	18	12	6	9	8	2	5
10	19	2	13	-	-	1	3	14	-	-	18	17
	VP19						VP20					
1	A19	B17	A2	B7	A10	B15	B18	A3	B8	A11	B16	A19
2	9	14	3	18	4	14	15	4	17	1	15	10
3	10	5	12	8	3	19	6	9	5	4	19	11
4	1	7	17	16	18	6	8	18	13	17	7	2
5	12	-	11	13	2	8	-	12	14	3	5	9
6	B8	A12	B14	A4	B5	A11	A9	B15	A1	B6	A12	B5
7	13	18	6	9	16	1	17	7	10	13	2	14
8	16	11	15	1	13	2	12	16	2	14	3	13
9	7	10	5	3	6	9	11	6	4	7	10	8
10	15	-	-	19	17	4	-	-	19	18	1	16

Versuchsteil: Stimulus Nr.	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	VP21						VP22					
1	A1	B8	A9	B16	A17	B18	B5	A10	B13	A18	B17	A2
2	4	19	3	13	10	13	19	4	14	11	14	1
3	11	7	4	17	9	6	8	1	18	10	7	12
4	18	15	19	5	2	8	16	19	6	3	5	17
5	12	14	1	7	11	-	15	2	8	12	-	9
6	B13	A3	B6	A12	B7	A11	A4	B7	A9	B8	A12	B14
7	5	10	15	2	14	19	11	16	3	15	19	6
8	16	2	14	1	15	12	3	15	2	16	9	13
9	6	4	5	10	8	9	1	6	11	5	10	7
10	-	17	18	3	16	-	18	17	4	13	-	-
	VP23						VP24					
1	A11	B14	A19	B17	A3	B6	B15	A17	B19	A4	B7	A12
2	1	15	12	15	2	18	16	9	16	3	18	2
3	2	19	11	8	9	5	17	12	5	10	6	3
4	18	7	4	6	17	13	8	1	6	19	14	18
5	3	5	9	-	10	16	6	10	-	11	13	4
6	B8	A10	B5	A9	B15	A1	A11	B6	A10	B16	A2	B5
7	13	4	16	18	7	12	1	13	18	8	9	14
8	16	3	13	10	14	4	4	14	11	15	1	13
9	7	12	6	11	8	2	9	7	12	5	3	8
10	17	1	14	-	-	19	2	15	-	-	17	19

A: Repertoire 6 Ziffern; B: Repertoire 10 Ziffern

Tabelle 22: Reaktionsmaximum und Informationsfluß bei optischen Stimuli

Stimulus Nr.:	Informationsfluß H (bit/s)	Reaktionsmaximum (% SRL)	Zeit (s)
1	1,23	96,78	11
2	1,85	96,29	9
3	3,69	92,86	42
4	5,17	87,03	64
5	1,58	95,26	12
6	2,37	95,62	7
7	4,75	91,43	61
8	6,64	86,84	63

Tabelle 23: Reaktionsmaximum und Informationsfluß bei akustischen Stimuli

Stimulus Nr.	Informationsfluß H (bit/s)	Reaktionsmaximum (% SRL)	Zeit (s)
9	2,5	97,69	5
10	3,7	97,18	4
11	7,4	97,75	4
12	10,3	97,27	7
13	3,2	97,79	4
14	4,75	97,01	5
15	9,5	97,57	5
16	13,3	97,7	6

****** STIMULUS NR.: 1 ******

MITTELWERTE:

100	99.98739726	99.40164383	98.51178082	97.02712329
97.[illegible]	97.10835616	96.[illegible]136986	96.81027397	96.80931507
96.81739726	96.78452055	96.[illegible]479452	96.7969863	96.8089041
96.92739726	96.98575342	97.00164384	97.0560[illegible]740	97.1379452
97.18869219	97.23082192	97.24958904	97.2912[illegible]288	97.2139726
97.19904110	97.27643836	97.34863014	97.40232877	97.47383562
97.49863014	97.48657534	97.43479452	97.42575342	97.39808219
97.4049315	97.33945205	97.33219178	97.34164384	97.39008219
97.46369863	97.53931507	97.5089041	97.6108[illegible]562	97.66479452
97.70904110	97.72438356	97.75054794	97.79684931	97.87164383
97.90452055	97.9419178	97.[illegible]8886301	97.97643836	97.97739726
98.02931507	98.0849315	98.0749315	98.1169863	98.16972603
98.16205479	98.15328767	98.21109589	98.2209589	98.21712329
98.28356164	98.25602740	98.21634931	98.19849315	98.22506849
98.25917808	98.31849315	98.31630137	98.38739726	98.46986301
98.53972603	98.57452055	98.[illegible]6123288	98.76726027	98.81753425
98.85630137	98.86150685	98.91767123	98.9880[illegible]219	99.09863014
99.1469863	99.19178082	99.[illegible]3753425	99.[illegible]5328767	99.43315068
99.44835616	99.44054794	99.50232877	99.53123[illegible]288	99.538[illegible]6712
99.51849315	99.6109589	99.7169863	99.85178082	99.94438356
99.99849315	100.0820548	100.[illegible]360274	100.1150685	100.1849315
100.2479452	100.3219178	100.3453425	100.4252055	100.4971233
100.5313699	100.5846575	100.6149315	100.7143836	100.7938356
100.9167123	101.0005479	101.[illegible]580822	100.9701370	100.819863
1				

7300	7299.08	72[illegible].7	7191.36	7141.38
7104.47	[illegible]068.91	7073.07	70[illegible]7.15	70[illegible]7.08
7067.67	7065.27	70[illegible]4.07	[illegible]066.18	7072.89
7075.7	7079.96	7081.13	7085.09	7091.07
7094.73	7095.66	7099.33	7097.15	7096.62
7095.53	7101.18	7106.45	7110.87	7115.59
7117.4	7116.52	7117.12	7112.08	[illegible]110.06
7110.56	7105.78	7104.25	7105.94	7110.06
7114.85	7120.37	71[illegible].8	[illegible]125.81	7129.53
7132.76	7133.88	7130.79	[illegible]139.17	7144.63
7147.03	7149.76	[illegible]153.36	[illegible]152.36	7152.35
7156.14	[illegible]160.2	7159.47	[illegible]162.54	[illegible]166.39
7165.83	[illegible]165.19	[illegible]164.41	[illegible]170.13	7169.85
[illegible]174.7	[illegible]172.69	7169.93	[illegible]168.49	[illegible]170.43
[illegible]172.9	[illegible]177.25	71[illegible].82	[illegible]182.36	7188.3
[illegible]193.4	[illegible]196.94	7200.37	[illegible]210.81	7213.68
[illegible]216.51	[illegible]216.89	7220.[illegible]9	[illegible]226.13	7234.2
7237.73	[illegible]241	724[illegible].34	[illegible]252.79	7257.89
[illegible]259.73	[illegible]259.16	726[illegible].67	[illegible]265.78	7266.38
[illegible]264.85	[illegible]271.6	[illegible]279.34	[illegible]289.19	7295.94
[illegible]299.89	[illegible]305.99	[illegible]304.82	[illegible]308.4	[illegible]313.5
[illegible]318.1	[illegible]323.5	[illegible]329.21	[illegible]331.04	[illegible]336.29
[illegible]338.79	[illegible]342.68	[illegible]340.89	[illegible]352.15	[illegible]357.25
[illegible]366.92	[illegible]373.04	[illegible]377.24	[illegible]370.82	[illegible]359.85
73				

Tabelle 3 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 1

****** STIMULUS NR.: 2 ******

MITTELWERTE:

100	100.0576712	99.45136986	98.27164383	97.4049315
96.84739726	96.52835616	96.37301370	96.37506849	96.29369863
96.30328767	96.34013699	96.40041096	96.44164384	96.4669863
96.45260274	96.42739726	96.42671233	96.41575342	96.51328767
96.53561644	96.64000000	96.70931507	96.80931507	96.91041096
96.93643836	96.97315068	96.96767123	96.93986301	96.92328767
96.84273973	96.83671233	96.86287671	96.90041096	96.84013699
96.86821918	96.8039726	96.6679452	96.67917808	96.72178082
96.71767123	96.68452055	96.57232877	96.69082192	96.64136986
96.70136986	96.71547945	96.6389041	96.58136986	96.57863014
96.64136986	96.60657534	96.57164384	96.57178082	96.63712329
96.67219178	96.76438356	96.7719178	96.80849315	96.89438356
96.93561644	96.98465753	96.99684931	97.01534247	97.00027397
97.02000000	97.03219178	97.05287671	97.0809589	97.08561644
97.16410959	97.2679452	97.28438356	97.30356164	97.35986301
97.44561644	97.48301370	97.50849315	97.59452055	97.71232877
97.81273973	97.87712329	97.99520548	98.04547945	98.08767123
98.12561644	98.21315068	98.29753425	98.38630137	98.43246575
98.5069863	98.62767123	98.6349315	98.70479452	98.78136986
98.8569863	98.96410959	99.01986301	99.11178082	99.11273973
99.10671233	99.05575342	99.12301370	99.23219178	99.37178082
99.46657534	99.53301370	99.59082192	99.65205479	99.74835616
99.82972603	99.83424657	99.93630137	99.98246575	100.0360274
100.1371233	100.2046575	100.2186301	100.1564384	100.0730137
1				

7300	7304.21	7259.95	7173.83	7110.56
7069.86	7046.57	7035.23	7035.38	7029.44
7030.14	7032.83	7037.23	7040.24	7042.09
7041.04	7039.2	7039.15	7038.35	7045.47
7047.1	7054.72	7059.78	7067.08	7074.46
7076.36	7079.04	7078.64	7076.61	7075.4
7069.52	7069.08	7070.99	7073.73	7069.33
7071.38	7066.69	7056.76	7057.58	7060.69
7060.39	7057.97	7057.08	7058.43	7054.82
7059.2	7060.23	7053.91	7050.44	7050.24
7054.82	7052.28	7049.73	7049.74	7054.51
7057.07	7063.8	7064.35	7067.02	7073.29
7076.3	7079.88	7080.77	7082.12	7081.02
7082.46	7083.35	7084.86	7086.91	7087.25
7092.98	7100.56	7101.76	7103.16	7107.27
7113.53	7116.26	7118.12	7124.4	7133
7140.33	7145.03	7150.65	7157.32	7160.4
7163.17	7169.56	7175.72	7182.2	7185.57
7191.01	7199.82	7204.73	7205.45	7211.04
7216.56	7224.38	7228.45	7235.16	7235.23
7234.79	7231.07	7235.98	7243.95	7254.14
7261.06	7265.91	7270.13	7274.6	7281.63
7287.57	7287.9	7295.35	7298.72	7302.63
7310.01	7314.94	7315.96	7311.42	7305.33
73				

Tabelle 4 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 2

****** STIMULUS NR.: 3 ******

MITTELWERTE:

100	99.91873239	99.05704225	97.77450704	96.65028169
95.88380282	95.29507042	94.96084507	94.68239437	94.45859155
94.29816901	94.20154930	94.15647887	94.12788732	94.10352113
93.99112676	93.82084507	93.81253521	93.78239437	93.76225352
93.67295775	93.67140845	93.62436620	93.60450704	93.61366197
93.62830986	93.5584507	93.4656338	93.36197183	93.29591549
93.25014084	93.31225352	93.31338028	93.35661972	93.33633803
93.34436620	93.20028169	93.07239437	93.11661972	93.13647887
93.00450704	92.94253521	92.86197183	92.88985915	92.94718310
93.0169014	93.02915493	93.06915493	93.11070422	93.16605634
93.18464789	93.0384507	93.00718310	93.01676056	93.01084507
92.97830986	92.95366197	93.00014084	93.07957746	93.10929577
93.15915493	93.14070422	93.01098592	92.93718310	93.01802817
93.05042253	93.10816901	93.13338028	93.25000000	93.37957746
93.49464789	93.61422535	93.70309859	93.71718310	93.84000000
93.88619718	93.92873239	94.01605634	94.11056338	94.15042253
94.26084507	94.35197183	94.48239437	94.57577465	94.70380282
94.80943662	94.82605634	94.98197183	94.9256338	95.05774648
95.1512676	95.26746479	95.36873239	95.45535211	95.58309859
95.62943662	95.6584507	95.71140845	95.75915493	95.85746479
95.94422535	96.04816901	96.15014084	96.1784507	96.24605634
96.33549296	96.33619718	96.41014084	96.43084507	96.48873239
96.54323944	96.68915493	96.77211268	96.84295775	96.89929577
96.87000000	96.86732394	96.90028169	96.99070422	97.06535211
1				

7100	7094.23	7038.05	6941.99	6862.17
6807.75	6765.95	6742.22	6722.45	6706.56
6695.17	6688.31	6685.11	6683.08	6681.35
6673.37	6661.28	6660.69	6658.55	6657.12
6650.78	6650.67	6647.33	6645.92	6646.57
6647.61	6642.65	6636.06	6628.7	6624.01
6620.76	6625.17	6625.25	6628.32	6626.88
6627.45	6617.22	6608.14	6611.28	6612.69
6603.32	6598.92	6590.2	6595.18	6599.25
6604.2	6605.07	6607.91	6610.86	6614.79
6616.11	6605.73	6603.51	6604.19	6603.77
6601.46	6599.71	6603.01	6608.65	6610.76
6614.3	6612.99	6603.78	6598.54	6604.28
6606.58	6610.68	6616.02	6620.75	6629.95
6638.12	6646.61	6652.92	6653.92	6662.64
6665.92	6668.94	6675.14	6681.85	6684.68
6692.52	6698.99	6708.25	6714.88	6723.97
6731.47	6732.65	6736.62	6739.72	6749.1
6755.74	6763.99	6771.18	6777.33	6786.4
6789.69	6791.75	6795.51	6798.9	6805.88
6812.04	6819.42	6826.66	6828.67	6833.47
6839.82	6839.87	6845.12	6846.59	6850.7
6854.57	6864.93	6870.82	6875.85	6879.85
6877.77	6877.58	6879.92	6886.34	6891.64
71				

Tabelle 5 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 3

****** STIMULUS NR.: 4 ******

MITTELWERTE:

100	99.9519178	98.90342466	97.28589041	95.90109589
94.70945205	93.74547945	92.96479452	92.28178082	91.78369863
91.38945205	91.07876712	90.79136986	90.53178082	90.38671233
90.31082192	90.11205479	89.88808219	89.77575342	89.72068493
89.61945205	89.47369863	89.36328767	89.3019178	89.20054794
89.12917808	88.9689041	88.82534247	88.68315068	88.69219178
88.64589041	88.5969863	88.54931507	88.53726027	88.5039726
88.44684931	88.4089041	88.37410959	88.29931507	88.30630137
88.32205479	88.25301370	88.1069863	88.06726027	87.97835616
87.89246575	87.81424657	87.77684931	87.76205479	87.67205479
87.56438356	87.56589041	87.51520548	87.47356164	87.37753425
87.30260274	87.30575342	87.29589041	87.32684931	87.32726027
87.31301370	87.21657534	87.11273973	87.0749315	87.03602740
87.05260274	87.15054794	87.0969863	87.06684931	87.10054794
87.20027397	87.33986301	87.45342466	87.60136986	87.68246575
87.83136986	87.99328767	88.16506849	88.25342466	88.36602740
88.40945205	88.59205479	88.68123288	88.84424657	88.9189041
89.03424657	89.09876712	89.1669863	89.29054794	89.35726027
89.52301370	89.52410959	89.59205479	89.70602740	89.72178082
89.79410959	89.91041096	90.08178082	90.17273973	90.29657534
90.42205479	90.49506849	90.61082192	90.69452055	90.76315068
90.80013699	90.86589041	90.97356164	91.06123288	91.1139726
91.23876712	91.25383562	91.32534247	91.37041096	91.38767123
91.51561644	91.60027397	91.63356164	91.71767123	91.7439726
1				

7300	7296.49	7219.95	7101.87	7000.78
6913.79	6843.42	6786.43	6736.57	6700.21
6671.43	6648.75	6627.77	6608.82	6598.23
6592.69	6578.18	6561.83	6553.63	6549.61
6542.22	6531.58	6523.52	6519.04	6511.64
6506.43	6494.73	6484.25	6473.87	6474.53
6471.15	6467.58	6464.1	6463.22	6460.79
6456.62	6453.85	6451.31	6445.85	6446.36
6447.51	6442.47	6431.81	6428.91	6422.42
6416.15	6410.44	6407.71	6406.63	6400.06
6392.2	6392.31	6388.61	6385.57	6378.56
6373.09	6373.32	6372.6	6374.86	6374.89
6373.85	6366.81	6359.23	6356.47	6353.63
6354.84	6361.99	6358.08	6355.88	6358.34
6365.62	6375.81	6384.1	6394.9	6400.82
6411.69	6423.51	6436.05	6442.5	6450.72
6453.89	6467.22	6473.73	6485.63	6491.08
6499.5	6504.21	6509.19	6518.21	6523.08
6535.18	6535.26	6540.22	6548.54	6549.69
6554.97	6563.46	6575.97	6582.61	6591.65
6600.81	6606.14	6614.59	6620.7	6625.71
6628.41	6633.21	6641.07	6647.47	6651.32
6660.43	6661.53	6666.75	6670.04	6671.3
6680.64	6686.82	6689.25	6695.39	6697.31
73				

Tabelle 6 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 4

****** STIMULUS NR.: 5 ******

MITTELWERTE:

100	99.97084507	99.16042253	97.7969014	96.81619718
96.09464789	95.7728169	95.54577465	95.40070422	95.36211268
95.30873239	95.30816901	95.25732394	95.30760563	95.34887324
95.43788732	95.48239437	95.56056338	95.63352113	95.6184507
95.62619718	95.67000000	95.75450704	95.83295775	95.74492958
95.77394366	95.82718310	95.93380282	96.01929577	96.0728169
96.18549296	96.11633803	96.11577465	96.10661972	96.1569014
96.26169014	96.31464789	96.39197183	96.45943662	96.54450704
96.54225352	96.58225352	96.6884507	96.76816901	96.71309859
96.72380282	96.63957746	96.60154930	96.55633803	96.57028169
96.63338028	96.67535211	96.69267606	96.69098592	96.68183099
96.75943662	96.83140845	96.93070422	96.96352113	96.96676056
96.99802817	97.0669014	97.15957746	97.20746479	97.17478873
97.16521127	97.17366197	97.18380282	97.2140845	97.19295775
97.19394366	97.25802817	97.34929577	97.41197183	97.47521127
97.52492958	97.5769014	97.64704225	97.77859155	97.8012676
97.79647887	97.84507042	97.92225352	97.9697183	97.99985915
98.01211268	98.04507042	98.06676056	98.08323944	98.04830986
98.05676056	98.1040845	98.11154930	98.17140845	98.25267606
98.33929577	98.39140845	98.44830986	98.47577465	98.53647887
98.62042253	98.68746479	98.76746479	98.77957746	98.77577465
98.77154930	98.78802817	98.84605634	98.92225352	99.00394366
99.06492958	99.15830986	99.24014084	99.32802817	99.44774648
99.51535211	99.52816901	99.54154930	99.58323944	99.62661972
1				

7100	7097.93	7040.39	6943.58	6873.95
6822.72	6799.87	6783.75	6773.45	6770.71
6766.92	6766.88	6763.27	6766.84	6769.77
6776.09	6779.25	6784.8	6789.98	6788.91
6789.46	6792.57	6798.57	6804.14	6797.89
6799.95	6803.73	6811.3	6817.37	6821.17
6829.17	6824.26	6824.22	6823.57	6827.14
6834.58	6838.34	6843.83	6848.62	6854.66
6854.5	6857.34	6864.88	6870.54	6866.63
6867.39	6861.41	6858.71	6855.5	6856.49
6860.97	6863.95	6865.18	6865.06	6864.41
6869.92	6875.03	6882.08	6884.41	6884.64
6886.86	6891.75	6898.33	6901.73	6899.41
6898.73	6899.33	6900.05	6902.2	6900.7
6900.77	6905.32	6911.8	6916.25	6920.74
6924.27	6927.96	6932.94	6942.28	6943.89
6943.55	6947	6952.48	6955.85	6957.99
6958.86	6961.2	6962.74	6963.91	6961.43
6962.03	6965.39	6965.92	6970.17	6975.94
6982.09	6985.79	6989.83	6991.78	6996.09
7002.05	7006.81	7012.49	7013.35	7013.08
7012.78	7013.95	7018.07	7023.48	7029.28
7033.61	7040.24	7046.05	7052.29	7060.79
7065.59	7066.5	7067.45	7070.41	7073.49
71				

Tabelle 7 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 5

****** STIMULUS NR.: 6 ******

MITTELWERTE:

100	99.93166667	99.10930555	97.60819444	96.50472222
95.94055555	95.71750000	95.62458333	95.71055555	95.81194444
95.83736111	95.93888889	96.00277778	96.07708333	96.08013889
96.10694444	96.00500000	96.09597222	96.19166667	96.27208333
96.31583333	96.29777778	96.32986111	96.37277778	96.33388889
96.27958333	96.30069444	96.34722222	96.38166667	96.47444444
96.46541667	96.48388889	96.53388889	96.55125000	96.58902778
96.61861111	96.67138889	96.77208333	96.75194444	96.79638889
96.76125000	96.71666667	96.76986111	96.79402778	96.74861111
96.76402778	96.79541667	96.75597222	96.82458333	96.85472222
96.92569444	96.86638889	96.81708333	96.81486111	96.81125000
96.88625000	96.95194444	97.00972222	97.08763889	97.11388889
97.04430555	96.98736111	96.96791667	96.94319444	96.97736111
96.99888889	96.97875000	96.89722222	96.88263889	96.90611111
96.85194444	96.88972222	96.90180555	96.95902778	96.96638889
96.96138889	97.01236111	97.01250000	96.97847222	97.03027778
97.09861111	97.18541667	97.30430555	97.43069444	97.45611111
97.44958333	97.42500000	97.48611111	97.61347222	97.70194444
97.78375000	97.82902778	97.86625000	97.90986111	97.96888889
98.08000000	98.16083333	98.21763889	98.19805555	98.24652778
98.29416667	98.30763889	98.37958333	98.46388889	98.56388889
98.63611111	98.67847222	98.71277778	98.76597222	98.90708333
99.00125000	99.04027778	99.03152778	99.05638889	99.14750000
99.24972222	99.33319444	99.26694444	99.22888889	99.24847222
1				

7200	7195.08	7135.87	7027.79	6948.34
6907.72	6891.66	6884.97	6891.16	6898.46
6900.29	6907.6	6912.2	6917.55	6917.77
6919.7	6912.36	6918.91	6925.8	6931.59
6934.74	6933.44	6935.75	6938.84	6936.04
6932.13	6933.65	6937	6939.48	6946.16
6945.51	6946.84	6950.44	6951.69	6954.41
6956.54	6960.34	6967.59	6966.14	6969.34
6966.81	6963.6	6967.43	6969.17	6965.9
6967.01	6969.27	6966.43	6971.37	6973.54
6978.65	6974.38	6970.83	6970.67	6970.41
6975.81	6980.54	6984.7	6990.31	6992.2
6987.19	6983.09	6981.69	6979.91	6982.37
6983.92	6982.47	6976.6	6975.55	6977.24
6973.34	6976.06	6976.93	6981.05	6981.58
6981.22	6984.89	6984.9	6982.45	6986.18
6991.1	6997.35	7005.91	7015.01	7016.84
7016.37	7014.6	7019	7028.17	7034.54
7040.43	7043.69	7046.37	7049.51	7053.76
7061.76	7067.58	7071.67	7070.26	7073.75
7077.18	7078.15	7083.33	7089.4	7096.6
7101.8	7104.85	7107.32	7111.15	7121.31
7128.09	7130.9	7130.27	7132.06	7138.62
7145.98	7151.99	7147.22	7144.48	7145.89
72				

Tabelle 8 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 6

****** STIMULUS NR.: 7 ******

MITTELWERTE:

100	99.96700000	99.08400000	97.19171429	95.57714286
94.47500000	93.89071429	93.68014286	93.47414286	93.41085714
93.28271429	93.27157143	93.22628571	93.20885714	93.16914286
93.18800000	93.19557143	93.10785714	92.97571429	92.89242857
92.83371429	92.92500000	92.88242857	92.82371429	92.73300000
92.64385714	92.55985714	92.55728571	92.44114286	92.37628571
92.32071429	92.29585714	92.29185714	92.39285714	92.21057143
92.06114286	92.00657143	91.95785714	91.92957143	91.87142857
91.85542857	91.85114286	91.82171429	91.86342857	91.81985714
91.74571429	91.64642857	91.58257143	91.54771429	91.56742857
91.60142857	91.56128571	91.50428571	91.44828571	91.49000000
91.42971429	91.39928571	91.47714286	91.53857143	91.47700000
91.44671429	91.43257143	91.48614286	91.50257143	91.45785714
91.53557143	91.57828571	91.60014286	91.73728571	91.91942857
92.12857143	92.19442857	92.26314286	92.34514286	92.44814286
92.55142857	92.65600000	92.75271429	92.86985714	92.90157143
92.99857143	93.13428571	93.24242857	93.34442857	93.43671429
93.59457143	93.60942857	93.67971429	93.79714286	93.85928571
93.94928571	94.06228571	94.05357143	94.09642857	94.18542857
94.24642857	94.31514286	94.39257143	94.43000000	94.54085714
94.68614286	94.77671429	94.84985714	94.86914286	94.91714286
94.95971429	95.06557143	95.12485714	95.19700000	95.20485714
95.25557143	95.34985714	95.37885714	95.44214286	95.49314286
95.56828571	95.63657143	95.72228571	95.76671429	95.89328571
1				

7000	6997.69	6935.88	6803.42	6690.4
6613.25	6572.35	6557.61	6543.19	6538.76
6529.79	6529.01	6525.84	6524.62	6521.84
6523.16	6523.69	6517.55	6508.3	6502.47
6498.36	6504.75	6501.77	6497.66	6491.31
6485.07	6479.19	6479.01	6470.88	6466.34
6462.45	6460.71	6460.43	6467.5	6454.74
6444.28	6440.46	6437.05	6435.07	6431
6429.88	6429.58	6427.52	6430.44	6427.39
6422.2	6415.25	6410.78	6408.34	6409.72
6412.1	6409.29	6405.3	6401.38	6404.3
6400.08	6397.95	6403.4	6407.7	6403.39
6401.27	6400.28	6404.03	6405.18	6402.05
6407.49	6410.48	6412.01	6421.61	6434.36
6449	6453.61	6458.42	6464.16	6471.37
6478.6	6485.92	6492.69	6500.89	6503.11
6509.9	6519.4	6526.97	6534.11	6540.57
6551.62	6552.66	6557.58	6565.8	6570.15
6576.45	6584.36	6583.75	6586.75	6592.98
6597.25	6602.06	6607.48	6610.1	6617.86
6628.03	6634.37	6639.49	6640.84	6644.2
6647.18	6654.59	6658.74	6663.79	6664.34
6667.89	6674.49	6676.52	6680.95	6684.52
6689.78	6694.56	6700.56	6703.67	6712.53
70				

Tabelle 9 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 7

****** STIMULUS NR.: 8 ******

MITTELWERTE:

100	99.98380282	99.31478873	97.53676056	95.86028169
94.61309859	93.6569014	92.88521127	92.32183099	91.92535211
91.6697183	91.42422535	91.21521127	90.91352113	90.72661972
90.48253521	90.35591549	90.2169014	90.09450704	89.93380282
89.90338028	89.85676056	89.71901408	89.5812676	89.50154930
89.26309859	89.05887324	88.89042253	88.77394366	88.68859155
88.61464789	88.40873239	88.32464789	88.34211268	88.2312676
88.18957746	88.13436620	88.05633803	88.03225352	87.96028169
87.92802817	87.85042253	87.89056338	87.87422535	87.7956338
87.73056338	87.64535211	87.5628169	87.5497183	87.50816901
87.46549296	87.46366197	87.35253521	87.4028169	87.4297183
87.39816901	87.31676056	87.2197183	87.08338028	86.92535211
86.99647887	87.03816901	86.91746479	86.83802817	86.88591549
86.93154930	86.92042253	87.03366197	87.17422535	87.27746479
87.38704225	87.4969014	87.60338028	87.73239437	87.85014084
87.94253521	88.06154930	88.19154930	88.28661972	88.42211268
88.56492958	88.66661972	88.77154930	88.86309859	88.9297183
89.05197183	89.2097183	89.30352113	89.4284507	89.51394366
89.59000000	89.63746479	89.74197183	89.9069014	89.9840845
90.07647887	90.2056338	90.32394366	90.48253521	90.58478873
90.67253521	90.79084507	90.95464789	91.05774648	91.14056338
91.25901408	91.31816901	91.35169014	91.42492958	91.54436620
91.61352113	91.69915493	91.74267606	91.80591549	91.89225352
91.96478873	92.06098592	92.21295775	92.34042253	102.1229577
1				

7100	7098.85	7051.35	6925.11	6806.08
6717.53	6649.64	6594.85	6554.85	6526.7
6508.55	6491.12	6476.28	6454.86	6441.59
6424.26	6415.27	6405.4	6396.71	6385.3
6383.14	6379.83	6370.05	6360.27	6354.61
6337.68	6323.18	6311.22	6302.95	6296.89
6291.64	6277.02	6271.05	6272.29	6264.42
6261.46	6257.54	6252	6250.29	6245.18
6242.89	6237.38	6240.23	6239.07	6233.49
6228.87	6222.82	6216.96	6216.03	6213.08
6210.05	6209.92	6202.03	6205.6	6207.51
6205.27	6199.49	6192.6	6182.92	6171.7
6176.75	6179.71	6171.14	6165.5	6168.9
6172.14	6171.35	6179.39	6189.37	6196.7
6204.48	6212.28	6219.84	6229	6237.36
6243.92	6252.37	6261.6	6268.35	6277.97
6288.11	6295.33	6302.78	6309.28	6314.01
6322.69	6333.89	6340.55	6349.42	6355.49
6360.89	6364.26	6371.68	6383.39	6388.87
6395.43	6404.6	6413	6424.26	6431.52
6437.75	6446.15	6457.78	6465.1	6470.98
6479.39	6483.59	6485.97	6491.17	6499.65
6504.56	6510.64	6513.73	6518.22	6524.35
6529.5	6536.33	6547.12	6556.17	7250.73
71				

Tabelle 10 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 8

****** STIMULUS NR.: 9 ******

MITTELWERTE:

100	99.96527778	99.07972222	98.05986111	97.70694444
97.68513889	97.74625000	97.86333333	97.89708333	98.02236111
98.12416667	98.22583333	98.32708333	98.44111111	98.50361111
98.51444444	98.64166667	98.72708333	98.78805555	98.84486111
98.84138889	98.77597222	98.84055555	98.92638889	98.90944444
98.95347222	98.90763889	99.01125000	99.06930555	99.08958333
99.05763889	99.08930555	99.20541667	99.22361111	99.27013889
99.26472222	99.37513889	99.46638889	99.55027778	99.66638889
99.68763889	99.71944444	99.82638889	99.76263889	99.81916667
99.96152778	99.99388889	100.0497222	100.0506944	100.1108333
100.1956944	100.2597222	100.3302778	100.4311111	100.4818056
100.4944444	100.5158333	100.5498611	100.6638889	100.6988889
100.7697222	100.8015278	100.7933333	100.8273611	100.7713889
100.7283333	100.6704167	100.4955556	100.5048611	100.5111111
100.4833333	100.4548611	100.5634722	100.6402778	100.6875000
100.7066667	100.6512500	100.7052778	100.8279167	100.9241667
100.9881944	101.0231944	101.0466667	100.9552778	101.0348611
101.0548611	101.0852778	101.0981944	101.1325000	101.2229167
101.3202778	101.3956944	101.4486111	101.5227778	101.6311111
101.6788889	101.7309722	101.8013889	101.8481944	101.8626389
101.8811111	101.9051389	102.0144444	102.0608333	102.0730556
102.1781944	102.2204167	102.1873611	102.1390278	102.1211111
102.1450000	102.2219444	102.2619444	102.3050000	102.3931944
102.4559722	102.4680556	102.5090278	102.5798611	102.6202778
1				

0	0.542726489	1.561068589	2.402996952	2.638865868
2.654207659	2.699201729	2.753474629	2.744000852	2.829432828
2.837500264	2.722798762	2.733457770	2.752797072	2.780158730
2.873151526	2.833787591	2.831754515	2.843935302	2.853036680
2.898150605	3.20678513	3.342449085	3.371399722	3.40746814
3.470487509	3.665764334	3.610647182	3.647561729	3.761034822
3.893043270	4.072037532	4.000953914	4.051777322	4.064005169
4.165712483	4.124621193	4.15458115	4.137492598	4.062862832
4.135001744	4.19814308	4.224058962	4.459431371	4.515459439
4.352259300	4.423046735	4.484436302	4.565354785	4.598094446
4.584484959	4.585868058	4.655976010	4.662735569	4.68483644
4.726904979	4.848176585	4.887798835	4.919444192	5.01944376
5.035566453	5.137193611	5.205204330	5.330901278	5.467132346
5.543434386	5.657649674	5.773078094	5.677541993	5.643382154
5.673238388	5.783784154	5.785046206	5.787898004	5.805496121
5.885102701	6.00758076	5.954269382	5.864248193	5.80857301
5.866699970	5.831702172	5.851595665	6.055257284	6.0361499
6.081469544	6.059791744	6.124489937	6.164020946	6.189862439
6.199153049	6.226642739	6.220037885	6.242790371	6.300505582
6.389974445	6.412212086	6.436427867	6.46666508	6.531830513
6.615413406	6.630777682	6.664838341	6.693715310	6.737090658
6.800366359	6.837162318	7.046637895	7.218489885	7.368627743
7.404534393	7.453643903	7.515823428	7.473391485	7.463175952
7.4764517	7.553029919	7.579386548	7.585931010	7.597867005
1				

Tabelle 11 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 9

****** STIMULUS NR.: 10 ******

MITTELWERTE:

100	99.81014084	98.78352113	97.55323944	97.17859155
97.21859155	97.35394366	97.50436620	97.57802817	97.68478873
97.84577465	97.97450704	98.10887324	98.18239437	98.30352113
98.36549296	98.47464789	98.56154930	98.62887324	98.67169014
98.71985915	98.77338028	98.88605634	98.92661972	99.00774648
99.06887324	99.15309859	99.28154930	99.31352113	99.39000000
99.4884507	99.59887324	99.66816901	99.67253521	99.67380282
99.63464789	99.72676056	99.83816901	99.81816901	99.84873239
99.87225352	99.8612676	99.80436620	99.84309859	99.91676056
99.98042253	99.93619718	99.99704225	100.0257746	100.1111268
100.1384507	100.1883099	100.1807042	100.1787324	100.1746479
100.1666197	100.2066197	100.1835211	100.1304225	100.2330986
100.3018310	100.3798592	100.4150704	100.4176056	100.4194366
100.3194366	100.3442254	100.3956338	100.4670423	100.4464789
100.4707042	100.4892958	100.539014	100.5701408	100.6042254
100.6373239	100.6860563	100.7474648	100.7711268	100.7960563
100.7938028	100.8287324	100.8864789	100.8964789	100.9176056
101.0211268	101.132676	101.2369014	101.2904225	101.2815493
101.3091549	101.3742254	101.4943662	101.497183	101.4894366
101.5004225	101.5664789	101.6098592	101.6285915	101.7580282
101.7669014	101.7970423	101.8535211	101.9366197	101.9618310
101.9143662	101.9250704	101.9394366	102.010845	102.0854930
102.1154930	102.0877465	102.0315493	102.1216901	102.2449296
102.3264789	102.3676056	102.4430986	102.528169	102.598169
1				

7100	7086.52	7013.63	6926.28	6899.68
6902.52	6912.13	6922.81	6928.04	6935.62
6947.05	6956.19	6965.73	6970.95	6979.55
6983.95	6991.7	6997.87	7002.65	7005.69
7009.11	7012.91	7020.91	7023.79	7029.55
7033.89	7039.87	7048.99	7051.26	7056.69
7063.68	7071.52	7076.44	7076.75	7076.84
7074.06	7080.6	7088.51	7087.09	7089.26
7090.93	7090.15	7086.11	7088.86	7094.09
7098.61	7095.47	7099.79	7101.83	7107.89
7109.83	7113.37	7112.83	7112.69	7112.4
7111.83	7114.67	7113.03	7109.26	7116.55
7121.43	7126.97	7129.47	7129.65	7129.78
7122.68	7124.44	7128.09	7133.16	7131.7
7133.42	7134.74	7138.27	7140.48	7142.9
7145.25	7148.71	7153.07	7154.75	7156.52
7156.36	7158.84	7162.94	7163.65	7165.15
7172.5	7180.42	7187.82	7191.62	7190.99
7192.95	7197.57	7206.1	7206.3	7205.75
7206.53	7211.22	7214.3	7215.63	7224.82
7225.45	7227.59	7231.6	7237.5	7239.29
7235.92	7236.68	7237.7	7242.77	7248.07
7250.2	7248.23	7244.24	7250.64	7259.39
7265.18	7268.1	7273.46	7279.5	7284.47
71				

Tabelle 12 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 10

****** STIMULUS NR.: 11 ******

MITTELWERTE:

100	99.88847222	99.05083333	98.06944444	97.75638889
97.77486111	97.84569444	97.92680555	98.00888889	97.98666667
98.01763889	98.06375000	98.17513889	98.30694444	98.41652778
98.50458333	98.51597222	98.57555555	98.64416667	98.74444444
98.79500000	98.90930555	98.93402778	98.90013889	98.92638889
99.03750000	99.16500000	99.22500000	99.21319444	99.26458333
99.26486111	99.35027778	99.34111111	99.33027778	99.31569444
99.24930555	99.24250000	99.30055555	99.34347222	99.25347222
99.22125000	99.24194444	99.34152778	99.47416667	99.45152778
99.52208333	99.58569444	99.65250000	99.69125000	99.80291667
99.81805555	99.77569444	99.72583333	99.81069444	99.84708333
99.88319444	99.89347222	99.94263889	100.0261111	100.0904167
100.1073611	100.1294444	100.0280556	99.96152778	100.0237500
99.93430555	99.82250000	99.79972222	99.89638889	99.94958333
99.98861111	100.0729167	100.1626389	100.2655556	100.3841667
100.4373611	100.4911111	100.5312500	100.5920833	100.6975000
100.7902778	100.7966667	100.8645833	100.9162500	100.9845833
101.0461111	101.0375000	101.0654167	101.1127778	101.1426389
101.2076389	101.2761111	101.1990278	101.2519444	101.3398611
101.3494444	101.4159722	101.4033333	101.3798611	101.4577778
101.4962500	101.5443056	101.6122222	101.6777778	101.7587500
101.7629167	101.7879167	101.8329167	101.9198611	101.9756944
102.0950000	102.1550000	102.2375000	102.3068056	102.3448611
102.3786111	102.3637500	102.3347222	102.3487500	102.3766667
1				

7200	7191.97	7131.66	7061	7038.46
7039.79	7044.89	7050.73	7056.64	7055.04
7057.27	7060.59	7068.61	7078.1	7085.99
7092.33	7093.15	7097.44	7102.38	7109.6
7113.24	7121.47	7123.25	7120.81	7122.7
7130.7	7139.88	7144.2	7143.35	7147.05
7147.07	7153.22	7152.56	7151.78	7150.73
7145.95	7145.46	7149.64	7152.73	7146.25
7143.93	7145.42	7152.59	7162.14	7160.51
7165.59	7170.17	7174.98	7177.77	7185.81
7186.9	7183.85	7180.26	7186.37	7188.99
7191.59	7192.33	7195.87	7201.88	7206.51
7207.73	7209.32	7202.02	7197.23	7201.71
7195.27	7187.22	7185.58	7192.54	7196.37
7199.18	7205.25	7211.71	7219.12	7227.66
7231.49	7235.36	7238.25	7242.63	7250.22
7256.9	7257.36	7262.25	7265.97	7270.89
7275.32	7274.7	7276.71	7280.12	7282.27
7286.95	7291.88	7286.33	7290.14	7296.47
7297.16	7301.95	7301.04	7299.35	7304.96
7307.73	7311.19	7316.08	7320.8	7326.63
7326.93	7328.73	7331.97	7338.23	7342.25
7350.84	7355.16	7361.1	7366.09	7368.83
7371.26	7370.19	7368.1	7369.11	7371.12
72				

Tabelle 13 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 11

****** STIMULUS NR.: 12 ******

MITTELWERTE:

100	99.93589041	98.80082192	97.71534247	97.30726027
97.29671233	97.31150685	97.26726027	97.28616438	97.27739726
97.30232877	97.4049315	97.50424657	97.61383562	97.67328767
97.78561644	97.85767123	97.9769863	98.04917808	98.10986301
98.18739726	98.30027397	98.40232877	98.47178082	98.50452055
98.56068493	98.63671233	98.70465753	98.74356164	98.76931507
98.88027397	98.97041096	98.85808219	98.74726027	98.8119178
98.90342466	98.9189041	98.85205479	98.89904110	98.90671233
99.00123288	99.05383562	99.20479452	99.30561644	99.44136986
99.49246575	99.55383562	99.56917808	99.59232877	99.59109589
99.74506849	99.86287671	99.87917808	99.84287671	99.82821918
99.84123288	99.83726027	99.78863014	99.79684931	99.83150685
99.80657534	99.87068493	99.93410959	99.84808219	99.82328767
99.89479452	99.95739726	99.97602740	100.0252055	100.1212329
100.1050685	100.139315	100.2150685	100.2482192	100.3445205
100.4760274	100.589178	100.6554795	100.7506849	100.8649315
100.9716438	100.9628767	100.9276712	100.9541096	101.009863
101.0831507	101.1212329	101.159589	101.2509589	101.339041
101.4123288	101.4876712	101.5268493	101.5008219	101.509589
101.5434247	101.5335616	101.6289041	101.6969863	101.8354795
101.8986301	101.9826027	102.0824658	102.1164384	102.1565753
102.2343836	102.3058904	102.3734247	102.3700000	102.4601370
102.4921918	102.5609589	102.5849315	102.6254795	102.6215068
102.6249315	102.6247945	102.6458904	102.6758904	102.7345205

1

7300	7295.32	7212.46	7133.22	7103.43
7102.66	7103.74	7100.51	7101.89	7101.25
7103.07	7110.56	7117.81	7125.81	7130.15
7138.35	7143.61	7152.32	7157.59	7162.02
7167.68	7175.92	7183.37	7188.44	7190.83
7194.93	7200.48	7205.44	7208.28	7210.16
7218.26	7224.84	7216.64	7208.55	7213.27
7219.95	7221.08	7216.2	7219.63	7220.19
7227.09	7230.93	7241.95	7249.31	7259.22
7262.95	7267.43	7268.55	7270.24	7270.15
7281.39	7289.99	7291.18	7288.53	7287.46
7288.41	7288.12	7284.57	7285.17	7287.7
7285.88	7290.56	7295.19	7288.91	7287.1
7292.32	7296.89	7298.25	7301.84	7308.85
7307.67	7310.17	7315.7	7318.12	7325.15
7334.75	7343.01	7347.85	7354.8	7363.14
7370.93	7370.29	7367.72	7369.65	7373.72
7379.07	7381.85	7384.65	7391.32	7397.75
7403.1	7408.6	7411.46	7409.56	7410.2
7412.67	7411.95	7418.91	7423.88	7433.99
7438.6	7444.73	7452.02	7454.5	7457.43
7463.11	7468.33	7473.26	7473.01	7479.59
7481.93	7486.95	7488.7	7491.66	7491.37
7491.62	7491.61	7493.15	7495.34	7499.62

73

Tabelle 14 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 12

****** STIMULUS NR.: 13 ******

MITTELWERTE:

100	99.92338028	99.16774648	98.09985915	97.79309859
97.82239437	97.88450704	97.90985915	98.03901408	98.10549296
98.23183099	98.32366197	98.41718310	98.43028169	98.4397183
98.44098592	98.49380282	98.52535211	98.60492958	98.67464789
98.76676056	98.81084507	98.9212676	98.96464789	99.01450704
99.06774648	99.1756338	99.26816901	99.30295775	99.37225352
99.45197183	99.51042253	99.5369014	99.56295775	99.58816901
99.68915493	99.79478873	99.80028169	99.83802817	99.86859155
99.87478873	99.90746479	99.98676056	100.0684507	100.1623944
100.2466197	100.3411268	100.4409859	100.5315493	100.6274648
100.6602817	100.7383099	100.7649296	100.8588732	100.9716901
101.0025352	101.0392958	101.1060563	101.1585915	101.2140845
101.2456338	101.2711268	101.3330986	101.3280282	101.3874648
101.3825352	101.2438028	101.206338	101.2753521	101.3502817
101.3174648	101.3201408	101.3423944	101.3614085	101.3523944
101.3716901	101.4112676	101.4519718	101.4136620	101.4354930
101.4566197	101.5666197	101.5022535	101.5280282	101.5360563
101.6383099	101.634507	101.5956338	101.659014	101.7504225
101.8097183	101.8633803	101.9001408	101.9266197	101.9714085
101.9887324	102.019014	101.994507	102.0238028	102.1495775
102.1111268	102.1333803	102.2074648	102.2015493	102.2030986
102.244507	102.2877465	102.2678873	102.3940845	102.474507
102.4688732	102.4577465	102.4454930	102.5176056	102.6283099
102.6815493	102.6407042	102.6157746	102.7694366	102.8121127
1				

7100	7094.56	7040.91	6965.09	6943.31
6945.39	6949.8	6951.6	6960.77	6965.49
6974.46	6980.98	6987.62	6988.55	6989.22
6989.31	6993.06	6995.3	7000.95	7005.9
7012.44	7015.57	7023.41	7026.49	7030.03
7033.81	7041.47	7048.04	7050.51	7055.43
7061.09	7065.24	7067.12	7068.97	7070.76
7077.93	7085.43	7085.82	7088.5	7090.67
7091.11	7093.43	7099.06	7104.86	7111.53
7117.51	7124.22	7131.31	7137.74	7144.55
7146.88	7152.42	7154.31	7160.98	7168.99
7171.18	7173.79	7178.53	7182.26	7186.2
7188.44	7190.25	7194.65	7194.29	7198.51
7198.16	7188.31	7185.65	7190.55	7195.87
7193.54	7193.73	7195.31	7196.66	7196.02
7197.39	7200.2	7203.09	7200.37	7201.92
7203.42	7211.23	7206.66	7208.49	7209.06
7216.32	7216.05	7213.29	7217.79	7224.28
7228.49	7232.3	7234.91	7236.79	7239.97
7241.2	7243.35	7241.61	7243.69	7252.62
7249.89	7251.47	7256.73	7256.31	7256.42
7259.36	7262.43	7261.02	7269.98	7275.69
7275.29	7274.5	7273.63	7278.75	7286.61
7290.39	7287.49	7285.72	7296.63	7299.66
71				

Tabelle 15 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 13

****** STIMULUS NR.: 14 ******

MITTELWERTE:

100	99.90746479	98.90676056	97.58577465	97.14746479
97.00901408	97.05197183	97.09647887	97.15802817	97.33647887
97.45760563	97.49309859	97.57183099	97.58323944	97.69549296
97.8228169	97.91464789	97.94028169	97.97746479	98.09084507
98.15492958	98.23535211	98.23028169	98.20887324	98.10478873
98.12070422	98.16450704	98.19380282	98.20225352	98.23605634
98.27309859	98.37676056	98.45323944	98.45014084	98.40267606
98.46380282	98.56535211	98.59338028	98.5912676	98.53901408
98.52901408	98.62394366	98.65816901	98.77000000	98.79633803
98.93154930	98.94577465	98.93577465	99.02464789	99.12647887
99.15915493	99.24464789	99.26464789	99.24492958	99.22859155
99.31985915	99.33422535	99.34647887	99.40915493	99.55535211
99.53140845	99.47309859	99.47830986	99.38098592	99.28028169
99.30830986	99.37309859	99.44422535	99.4556338	99.45943662
99.47309859	99.50323944	99.5156338	99.53352113	99.60859155
99.62112676	99.68464789	99.79887324	99.91366197	100.0516901
100.0835211	100.1605634	100.1035211	100.0638028	100.119014
100.1222535	100.1550704	100.2176056	100.3160563	100.4036620
100.4776056	100.5516901	100.5888732	100.6211268	100.7125352
100.7985915	100.8467606	100.9536620	100.9847887	101.0557746
101.0853521	101.2429577	101.212676	101.1830986	101.1342254
101.1252113	101.0497183	101.0502817	101.1235211	101.2122535
101.2194366	101.28	101.3764789	101.3370423	101.337183
101.3692958	101.4976056	101.5598592	101.696338	101.7622535
1				

7100	7093.43	7022.38	6928.59	6897.47
6887.64	6890.69	6893.85	6898.22	6910.89
6919.49	6922.01	6927.6	6928.41	6936.38
6945.42	6951.94	6953.76	6956.4	6964.45
6969	6974.71	6974.35	6972.83	6965.44
6966.57	6969.68	6971.76	6972.36	6974.76
6977.39	6984.75	6990.18	6989.96	6986.59
6990.93	6998.14	7000.13	6999.98	6996.27
6995.56	7002.3	7004.73	7012.67	7014.54
7024.14	7025.15	7024.44	7030.75	7037.98
7040.3	7046.37	7047.79	7046.39	7045.23
7051.71	7052.73	7053.6	7058.05	7068.43
7066.73	7062.59	7062.96	7056.05	7048.9
7050.89	7055.49	7060.54	7061.35	7061.62
7062.59	7064.73	7065.61	7066.88	7072.21
7073.1	7077.61	7085.72	7093.87	7103.67
7105.93	7111.4	7107.35	7104.53	7108.45
7108.68	7111.01	7115.45	7122.44	7128.66
7133.91	7139.17	7141.81	7144.1	7150.59
7156.7	7160.12	7167.71	7169.92	7174.96
7177.06	7188.25	7186.1	7184	7180.53
7179.89	7174.53	7174.57	7179.77	7186.07
7186.58	7190.88	7197.73	7194.93	7194.94
7197.22	7206.33	7210.75	7220.44	7225.12
71				

Tabelle 16 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 14

****** STIMULUS NR.: 15 ******

MITTELWERTE:

100	99.9028169	99.1128169	98.02943662	97.60873239
97.5784507	97.78253521	97.94225352	98.06366197	98.17985915
98.2740845	98.34633803	98.42788732	98.48816901	98.51253521
98.6184507	98.7184507	98.81619718	98.8856338	98.98605634
99.06338028	99.11788732	99.23028169	99.18774648	99.25859155
99.23239437	99.25549296	99.36760563	99.44450704	99.3984507
99.43267606	99.53577465	99.62183099	99.65661972	99.73535211
99.8012676	99.88718310	99.93112676	99.90056338	99.89338028
99.9797183	100.0469014	100.1485915	100.1947887	100.2635211
100.2664789	100.3678873	100.4157746	100.510845	100.5677465
100.5907042	100.5885915	100.6607042	100.7223944	100.7887324
100.7698592	100.7676056	100.6778873	100.5949296	100.567183
100.5721127	100.5104225	100.5022535	100.5301408	100.484507
100.4266197	100.4669014	100.4083099	100.4146479	100.4953521
100.554507	100.6342254	100.6528169	100.632676	100.6836620
100.7402817	100.7277465	100.716338	100.7760563	100.8201408
100.8649296	100.9866197	101.0135211	101.0342254	101.0474648
101.0907042	101.1347887	101.1215493	101.1474648	101.1794366
101.222676	101.2459155	101.2933803	101.3349296	101.4002817
101.4618310	101.4919718	101.4494366	101.4516901	101.4660563
101.4714085	101.4328169	101.49	101.569014	101.6009859
101.6164789	101.6201408	101.5438028	101.5573239	101.5898592
101.6484507	101.6866197	101.7447887	101.792676	101.7649296
101.7395775	101.8122535	101.8811268	101.838169	101.8718310
1				

7100	7093.1	7037.01	6960.09	6930.22
6928.07	6942.56	6953.9	6962.52	6970.77
6977.46	6982.59	6988.38	6992.66	6994.39
7001.91	7009.01	7015.95	7020.88	7028.01
7033.5	7037.37	7045.35	7042.33	7047.36
7045.5	7047.14	7055.1	7060.56	7057.29
7059.72	7067.04	7073.15	7075.62	7081.21
7085.89	7091.99	7095.11	7092.94	7092.43
7098.56	7103.33	7110.55	7113.83	7118.71
7118.92	7126.12	7129.52	7136.27	7140.31
7141.94	7141.79	7146.91	7151.29	7156
7154.66	7154.5	7148.13	7142.24	7140.27
7140.62	7136.24	7135.66	7137.64	7134.4
7130.29	7133.15	7128.99	7129.44	7135.17
7139.37	7145.03	7146.35	7144.92	7148.54
7152.56	7151.67	7150.86	7155.1	7158.23
7161.41	7170.05	7171.96	7173.43	7174.37
7177.44	7180.57	7179.63	7181.47	7183.74
7186.81	7188.46	7191.83	7194.78	7199.42
7203.79	7205.93	7202.91	7203.07	7204.09
7204.47	7201.73	7205.79	7211.4	7213.67
7214.77	7215.03	7209.61	7210.57	7212.88
7217.04	7219.75	7223.88	7227.28	7225.31
7223.51	7228.67	7233.56	7230.51	7232.9
71				

Tabelle 17 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 15

****** STIMULUS NR.: 16 ******

MITTELWERTE:

100	100.0085915	99.22507042	98.31084507	97.81605634
97.71056338	97.69676056	97.72380282	97.84070422	97.89788732
97.92633803	98.03309859	98.1669014	98.14492958	98.22929577
98.34267606	98.43788732	98.53633803	98.58873239	98.64676056
98.75985915	98.86154930	98.83436620	98.81732394	98.91000000
98.99295775	99.09676056	99.15577465	99.07985915	99.11887324
99.1740845	99.24901408	99.31112676	99.38943662	99.43507042
99.47000000	99.52140845	99.51943662	99.59507042	99.72253521
99.76718310	99.76478873	99.80014084	99.87450704	99.9528169
99.98309859	100.0501408	100.0635211	100.0995775	100.1895775
100.2939437	100.3364789	100.3897183	100.4564789	100.5284507
100.5953521	100.658169	100.7088732	100.740845	100.7180282
100.7757746	100.8084507	100.8584507	100.8401408	100.8419718
100.7639437	100.7709859	100.7785915	100.8146479	100.7854930
100.837183	100.8529577	100.8098592	100.7656338	100.81
100.8854930	100.9149296	100.9366197	100.996338	101.0533803
101.0802817	101.0167606	101.1170423	101.2125352	101.2612676
101.2940845	101.2936620	101.317183	101.3559155	101.3991549
101.4621127	101.5060563	101.5574648	101.6498592	101.7150704
101.7918310	101.8764789	101.9129577	101.9343662	102.0325352
102.0891549	102.1395775	102.1321127	102.1394366	102.1684507
102.1740845	102.1847887	102.2129577	102.3061972	102.3553521
102.4305634	102.5122535	102.6256338	102.6691549	102.6521127
102.6950704	102.8060563	102.8597183	102.880845	102.9411268
1				

7100	7100.61	7044.98	6980.07	6944.94
6937.45	6936.47	6938.39	6946.69	6950.75
6952.77	6960.35	6969.85	6968.29	6974.28
6982.33	6989.09	6996.08	6999.8	7003.92
7011.95	7019.17	7017.24	7016.03	7022.61
7028.5	7035.87	7040.06	7034.67	7037.44
7041.36	7046.68	7051.09	7056.65	7059.89
7062.37	7066.02	7065.88	7071.25	7080.3
7083.47	7083.3	7085.81	7091.09	7096.65
7098.8	7103.56	7104.51	7107.07	7113.46
7120.87	7123.89	7127.67	7132.41	7137.52
7142.27	7146.73	7150.33	7152.6	7150.98
7155.08	7157.4	7160.95	7159.65	7159.78
7154.24	7154.74	7155.28	7157.84	7155.77
7159.44	7160.56	7157.5	7154.36	7157.51
7162.87	7164.96	7166.5	7170.74	7174.79
7176.7	7172.19	7179.31	7186.09	7189.55
7191.88	7191.85	7193.52	7196.27	7199.34
7203.81	7206.93	7210.58	7217.14	7221.77
7227.22	7233.23	7235.82	7237.34	7244.31
7248.33	7251.91	7251.38	7251.9	7253.96
7254.36	7255.12	7257.12	7263.74	7267.23
7272.57	7278.37	7286.42	7289.51	7288.3
7291.35	7299.23	7303.04	7304.54	7308.82
71				

Tabelle 18 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 16

****** STIMULUS NR.: 17 ******

MITTELWERTE:

100	100.0348611	99.55777778	98.25236111	97.50263889
96.73847222	96.07930555	95.81569444	95.42722222	95.29638889
95.28444444	95.26375000	95.35694444	95.33430555	95.35472222
95.43819444	95.52319444	95.52597222	95.55972222	95.62458333
95.63416667	95.64791667	95.61944444	95.63208333	95.66833333
95.67791667	95.61708333	95.69069444	95.71597222	95.82166667
95.91291667	95.96166667	95.95736111	95.92861111	95.93819444
95.91847222	95.91263889	95.91777778	95.93194444	95.92166667
95.83791667	95.76944444	95.57708333	95.39972222	95.28152778
95.14319444	94.96444444	94.84055555	94.76527778	94.59472222
94.27333333	93.94722222	93.72291667	93.47333333	93.27583333
93.06750000	92.76777778	92.46958333	92.17555555	91.82541667
91.48430555	91.14458333	90.88986111	90.67791667	90.53638889
90.46555555	90.45111111	90.44152778	90.44833333	90.50194444
90.61166667	90.74611111	90.86222222	90.95902778	91.08930555
91.22625000	91.28555555	91.34611111	91.44097222	91.54472222
91.67430555	91.79500000	91.86236111	92.00944444	92.16069444
92.26972222	92.36277778	92.47513889	92.60111111	92.70138889
92.76361111	92.79138889	92.82708333	92.94944444	93.04541667
93.13291667	93.26930555	93.33916667	93.36750000	93.45555555
93.50083333	93.57125000	93.68750000	93.76111111	93.85930555
93.92847222	93.90000000	93.85319444	93.89958333	93.95527778
93.98625000	94.01444444	94.07083333	94.11305555	94.22583333
94.32208333	94.38847222	94.35000000	94.38958333	94.25069444
1				

7200	7202.51	7168.16	7074.17	7020.19
6965.17	6917.71	6898.73	6870.76	6861.34
6860.48	6858.99	6865.7	6864.07	6865.54
6871.55	6877.67	6877.87	6880.3	6884.97
6885.66	6886.65	6884.6	6885.51	6888.12
6888.81	6884.43	6889.73	6891.55	6899.16
6905.73	6909.24	6908.93	6906.86	6907.55
6906.13	6905.71	6906.08	6907.1	6906.36
6900.33	6895.4	6881.55	6868.78	6860.27
6850.31	6837.44	6828.52	6823.1	6810.82
6787.68	6764.2	6748.05	6730.08	6715.86
6700.86	6679.28	6657.81	6636.64	6611.43
6586.87	6562.41	6544.07	6528.81	6518.62
6513.52	6512.48	6511.79	6512.28	6516.14
6524.04	6533.72	6542.08	6549.05	6558.43
6568.29	6572.56	6576.92	6583.75	6591.22
6600.55	6609.24	6614.09	6624.68	6635.57
6643.42	6650.12	6658.21	6667.28	6674.5
6678.98	6680.98	6683.55	6692.36	6699.27
6705.57	6715.39	6720.42	6722.46	6728.8
6732.06	6737.13	6745.5	6750.8	6757.87
6762.85	6760.8	6757.43	6760.77	6764.78
6767.01	6769.04	6773.1	6776.14	6784.26
6791.19	6795.97	6793.2	6796.05	6786.05
72				

Tabelle 19 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 17

****** STIMULUS NR.: 18 ******

MITTELWERTE:

100	99.96816901	99.24323944	98.07380282	97.53929577
97.33239437	97.26056338	97.36183099	97.41352113	97.46901408
97.55380282	97.62985915	97.75042253	97.86915493	97.96154930
98.11887324	98.18915493	98.28887324	98.36507042	98.39873239
98.4156338	98.48619718	98.56732394	98.64661972	98.63647887
98.68718310	98.73338028	98.83253521	98.98211268	99.05535211
99.08112676	99.20464789	99.29436620	99.33859155	99.37154930
99.42704225	99.46873239	99.47112676	99.47323944	99.46676056
99.52676056	99.6040845	99.59492958	99.58859155	99.62014084
99.65380282	99.71985915	99.67859155	99.76098592	99.83394366
99.95338028	99.99366197	99.99169014	100.0598592	100.1738028
100.2530986	100.3614085	100.294507	100.3805634	100.4519718
100.4821127	100.5218310	100.458169	100.3738028	100.2412676
100.188169	100.1866197	100.2797183	100.3215493	100.2984507
100.2377465	100.2743662	100.3291549	100.3557746	100.4773239
100.5250704	100.5842254	100.6364789	100.670845	100.7470423
100.6540845	100.5960563	100.6647887	100.697183	100.7295775
100.754507	100.8130986	100.9049296	100.9856338	100.9616901
101.0185915	101.0007042	101.0221127	101.0852113	101.1702817
101.799014	101.2087324	101.1919718	101.2059155	101.1530986
101.0540845	101.0114085	100.9933803	101.036338	101.0997183
101.1778873	101.2783099	101.3701408	101.4069014	101.4461972
101.4994366	101.5197183	101.4201408	101.3519718	101.3967606
101.4450704	101.5559155	101.6467606	101.6464789	101.6433803

1

7100	7097.74	7046.27	6963.24	6925.29
6910.6	6905.5	6912.69	6916.36	6920.3
6926.32	6931.72	6940.28	6948.71	6955.27
6966.44	6971.43	6978.51	6983.92	6986.31
6987.51	6992.52	6998.28	7003.91	7003.19
7006.79	7010.07	7017.11	7027.73	7032.93
7034.76	7043.53	7049.9	7053.04	7055.38
7059.32	7062.28	7062.45	7062.6	7062.14
7066.4	7071.89	7071.24	7070.79	7073.03
7075.42	7080.11	7077.18	7083.03	7088.21
7096.69	7099.55	7099.41	7104.25	7112.34
7117.97	7125.66	7120.91	7127.02	7132.09
7134.23	7137.05	7132.53	7126.54	7117.13
7113.36	7113.25	7119.86	7122.83	7121.19
7116.88	7119.48	7123.37	7125.26	7133.89
7137.28	7141.48	7145.19	7147.63	7153.04
7146.44	7142.32	7147.2	7149.5	7151.8
7153.57	7157.73	7164.25	7169.98	7168.28
7172.32	7171.05	7172.57	7177.05	7183.09
7227.73	7185.82	7184.63	7185.62	7181.87
7174.84	7171.81	7170.53	7173.58	7178.08
7183.63	7190.76	7197.28	7199.89	7202.68
7206.46	7207.9	7200.83	7195.99	7199.17
7202.6	7210.47	7216.92	7216.9	7216.68

71

Tabelle 20 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 18

****** STIMULUS NR.: 19 ******

MITTELWERTE:

100	100.0565625	100.005	99.94078125	99.91765625
99.98125	99.9809375	100.0139063	100.1314063	100.199375
100.3071875	100.3529688	100.4340625	100.411875	100.3823438
100.3523438	100.2957813	100.3978125	100.4615625	100.5317188
100.5432813	100.5982813	100.6857813	100.7567188	100.773125
100.7882813	100.86625	100.9020313	100.9289063	101.00875
101.0495313	101.0951563	101.1335938	101.2	101.2775
101.3589063	101.3995313	101.4178125	101.4807813	101.58625
101.640625	101.6576563	101.6707813	101.7115625	101.7375
101.7935938	101.8707813	101.949375	102.0317188	102.0004688
102.08375	102.1157813	102.1775	102.2129688	102.24875
102.3298438	102.4120313	102.4171875	102.4771875	102.5784375
102.5803125	102.5729688	102.60875	102.6492188	102.6790625
102.664375	102.6810938	102.6428125	102.6367188	102.6778125
102.7103125	102.683125	102.685625	102.6065625	102.5923438
102.6740625	102.7059375	102.706875	102.7525	102.7471875
102.5901563	102.4985938	102.3501563	102.2176563	102.11875
101.8828125	110.6525	101.4720313	101.3428125	101.2073438
101.06125	101.0028125	101.070625	101.0704688	101.01625
101.0160938	101.0359375	101.0321875	101.04625	100.9867188
100.9164063	100.8064063	100.8014063	100.6610938	100.6139063
100.6015625	100.611875	100.6192188	100.6673438	100.4682813
100.4665625	100.5545313	100.4975	100.4689063	100.4346875
100.3367188	100.246875	100.2290625	100.2717188	100.2239063

1

0	0.432696308	0.796803136	1.139308904	1.25714497
1.385740877	1.568422238	1.754756004	1.851189553	1.845010345
1.955702667	2.047167753	2.058438860	2.211596349	2.287453873
2.403881283	2.595480997	2.618225784	2.580037664	2.657441218
2.734581919	2.789128017	2.74267006	2.767016934	2.836121361
2.848645490	2.847931859	2.916634656	2.98082902	3.010234131
3.071897676	3.160370932	3.194135932	3.224017015	3.240496729
3.316184277	3.435676468	3.446525036	3.571639526	3.587818677
3.618151725	3.632173797	3.671735373	3.628623955	3.745452369
3.838223328	3.848337842	3.860249149	4.025347488	4.015604455
4.084642356	4.124071923	4.073810375	4.064123397	4.139166199
4.09528765	4.054499237	4.121297942	4.059608813	4.058121866
4.189721349	4.184835124	4.213438629	4.405669077	4.566350257
4.66440554	4.724053821	4.747588685	4.823970753	4.920118230
5.08478776	5.214835035	5.240857164	5.300753531	5.297355209
5.315985094	5.345797554	5.401441577	5.461437104	5.540599781
5.517115935	5.564128127	5.682768439	5.851669208	5.959782541
5.965670433	72.85728075	6.122194772	6.136790573	6.169186807
6.17974148	6.263575091	6.281290915	6.402705512	6.508728084
6.564603766	6.645582545	6.744561235	6.791618434	6.957568348
7.139486414	7.263063080	7.140201271	7.489706295	7.606262691
7.565418236	7.593897905	7.563970949	7.655787052	7.805132226
8.069212943	8.455598020	8.466703787	8.581012746	8.725902868
8.85306845	9.112262260	9.142298297	8.987088509	8.961816199

1

Tabelle 21 : Zeitverlauf der SRL auf den Stimulus 19

Abb. 1 : Zusammenhang zwischen Geräusch und dessen Bewertung

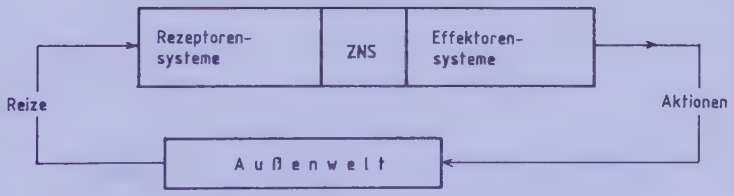


Abb. 2 : Mensch-Umwelt-System (nach Stachowiak)

S 6264 15000 4.82 1976

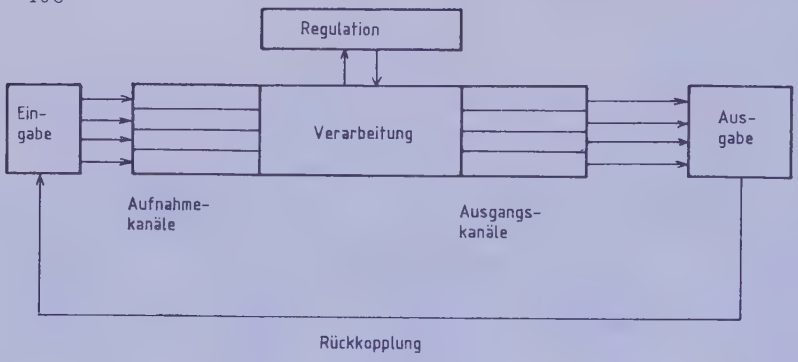


Abb. 3 : Regelung des menschlichen Lärmverhaltens
(nach Schönpflug)

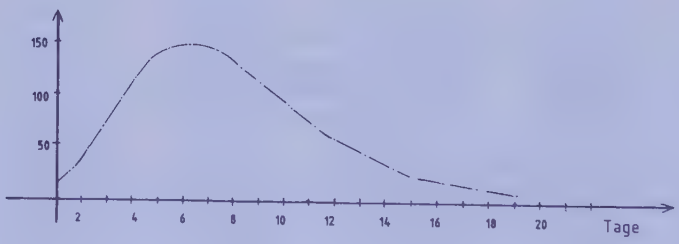
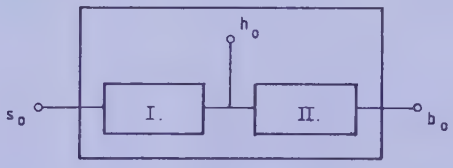


Abb. 4 : "Courbe Universelle"
(nach Drischel)

S 6264 15000 4.82 1976

Abb. 5 : Untersuchung eines Systems nach der black-box-Methode



s_o - Schallereignis (input)

h_o - Hörereignis; nur im Selbstversuch direkt zu beobachten

b_o - Beschreibung des Hörereignisses (output)

Abb. 6 : black-box zur Darstellung eines Hörversuches (nach Blauert)

S 6264 15000 4.82 1976

S 6264 15000 4.82 1976

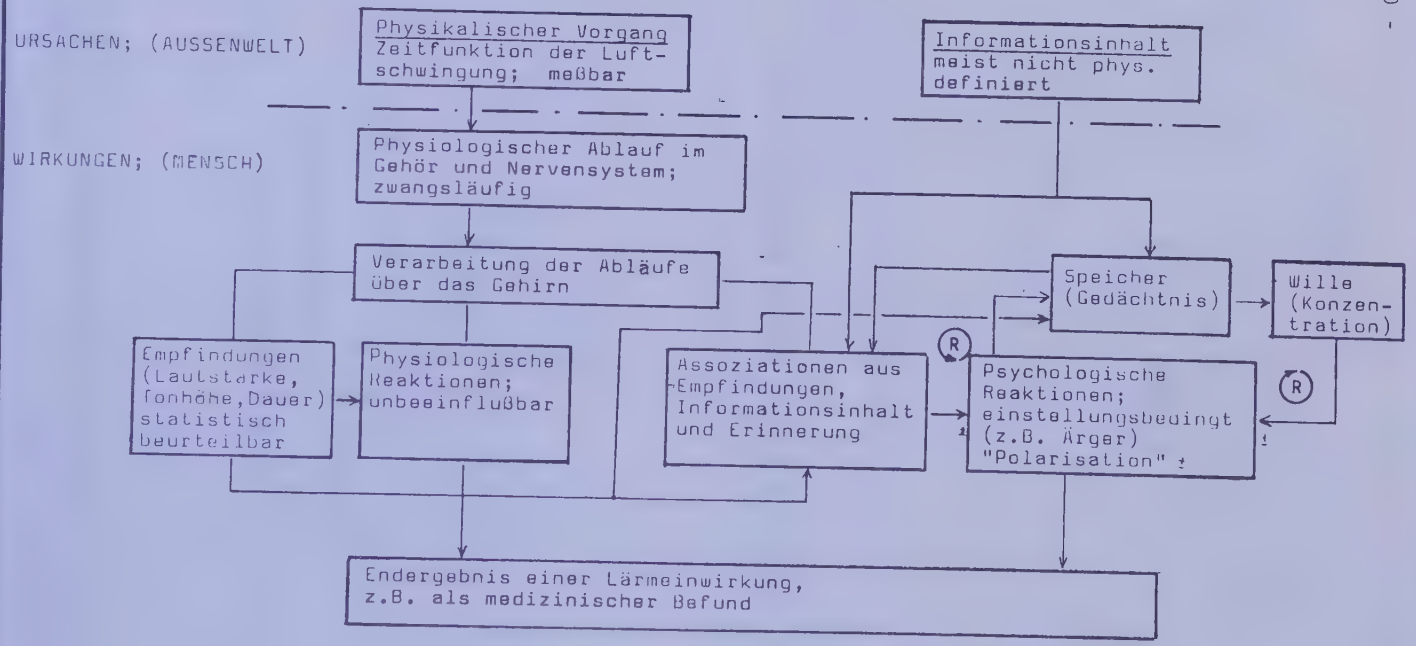


Abb. 7 : "Kybernetisches System" für das Verhalten des Menschen gegenüber der Außenwelt bei Lärmeinwirkungen (nach Bürck)

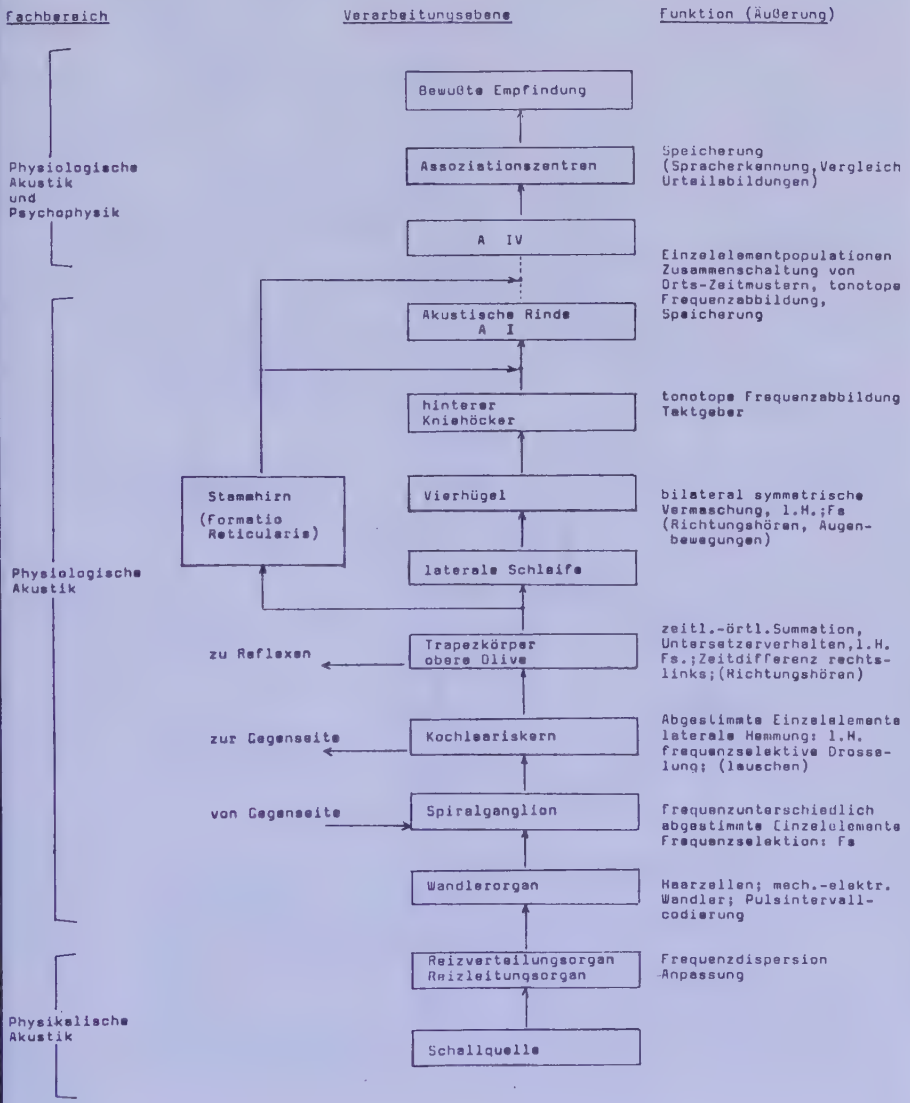


Abb. 8 : Stark vereinfachte blockschematische Darstellung des Sinnesorgansystems Ohr (monaural) (nach Spreng)

S 6264 15000 4.82 1976

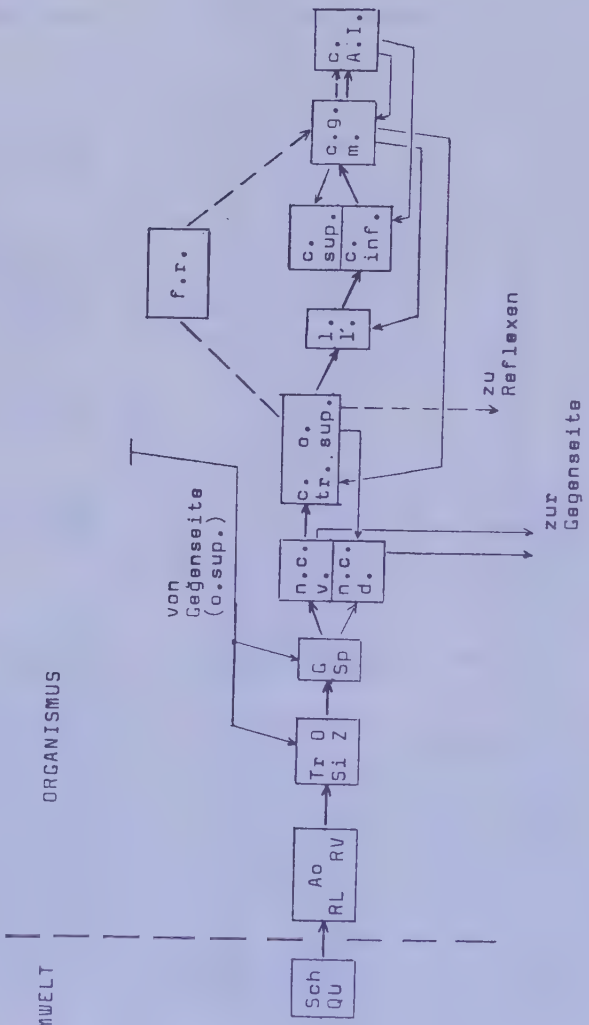
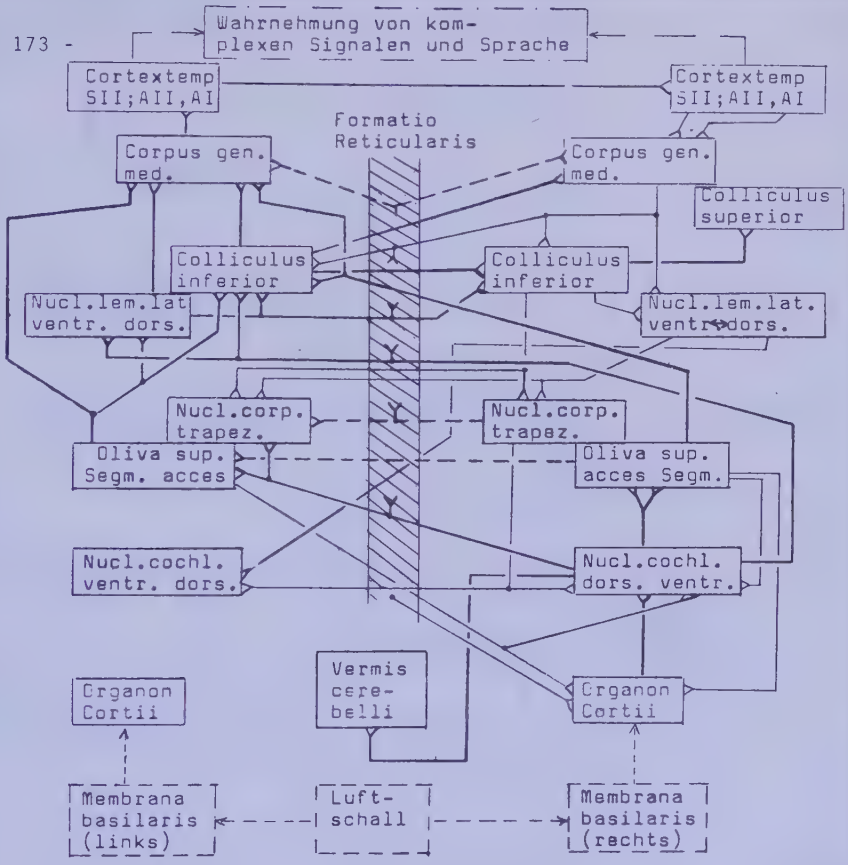


Abb. 9 : Blockschema der zentralnervösen akustischen Leitungsbahn (nach Keidel)

S 6264 15000 4.82 1976



Aufsteigendes System: dicke Verbindungslinien mit nach oben gerichteten Synapsenkelchen.
Absteigendes System: dünne Verbindungslinien mit nach unten gerichteten Synapsenkelchen.

Gestrichelt gezeichnete Bahnen sind nicht gesichert.

Zu jeder Verbindung hat man sich ein Gegenstück auf der anderen Körperseite zu denken;
durchgezeichnet sind nur die Verbindungen vom rechten Hörorgan.

Abb. 10 : Schaltplan der zerebralen Hörsysteme
(nach Dunker)

S 6264 15000 4.82 1976

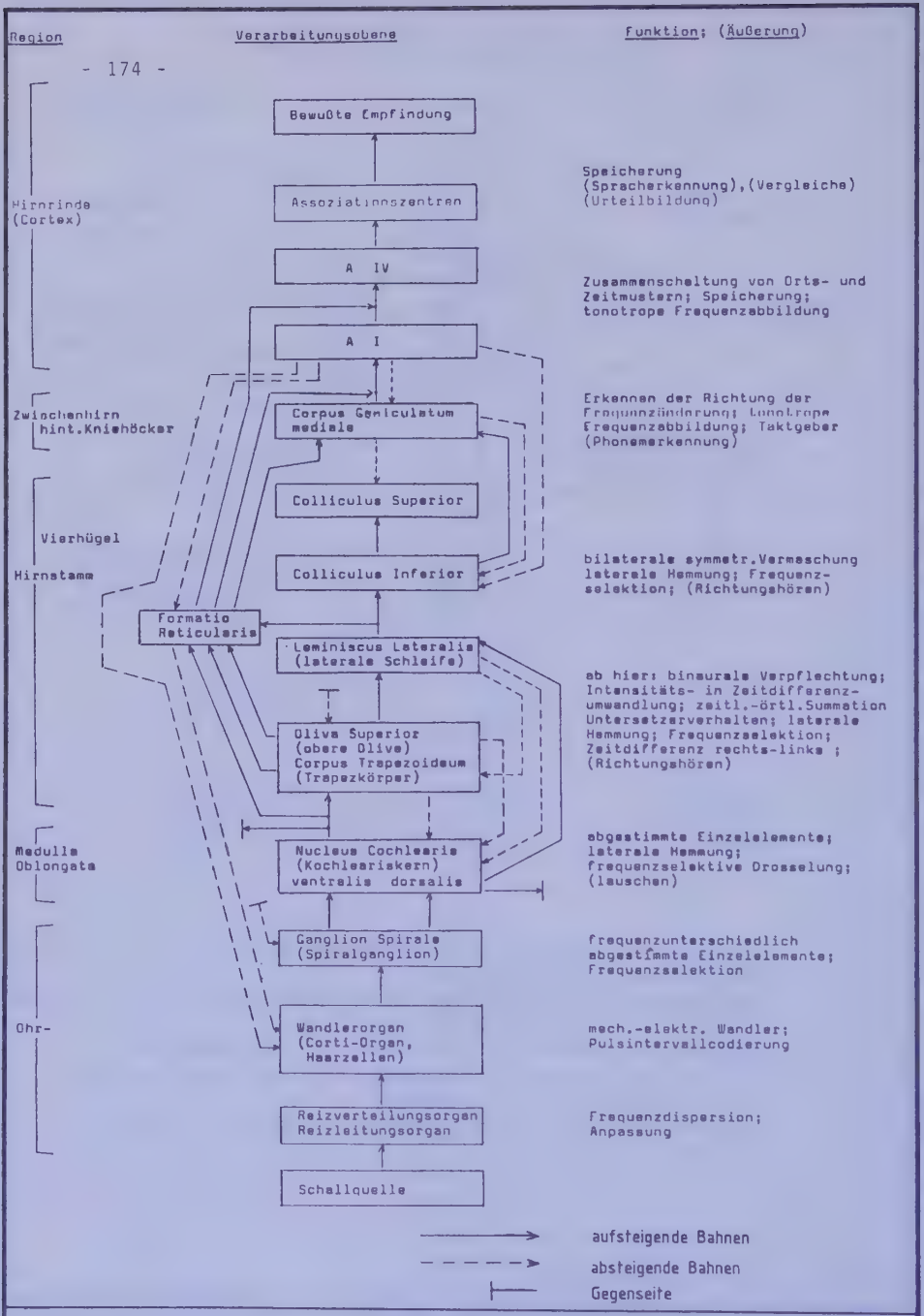


Abb. 11 : Blockschaltbild des akustischen Systems im Menschen

S 6264 15000 4.82 1976

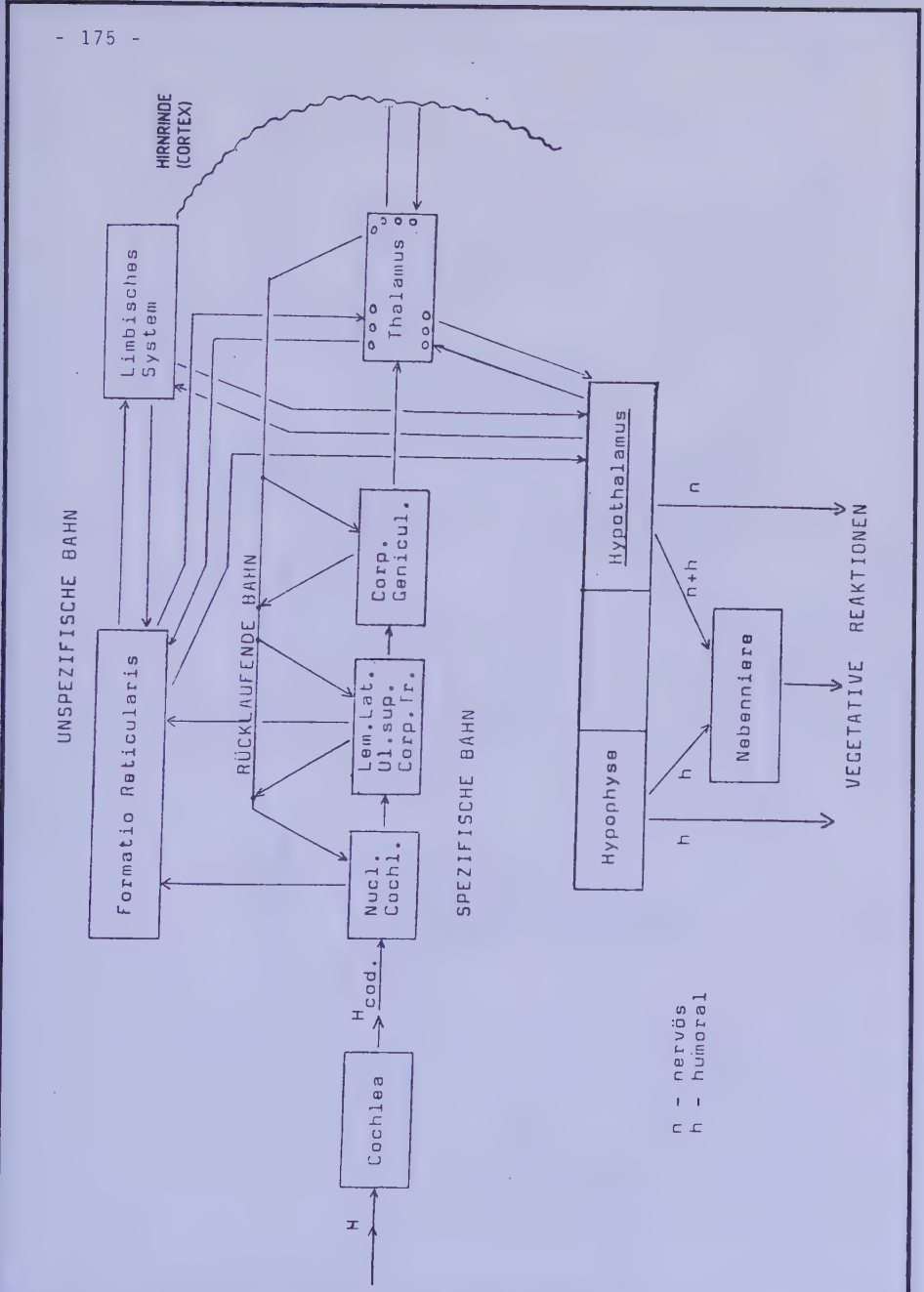


Abb. 12 : Beziehungen zwischen dem spezifischen Hörbahnsystem und dem vegetativen Nervensystem

S 6264 15000 4.82 1976

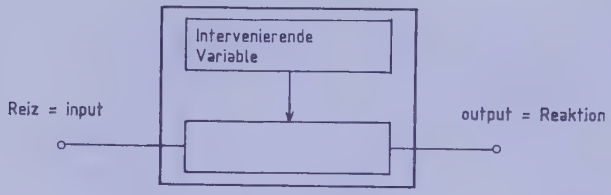


Abb. 13 : Die intervenierende Variable

S 6264 15000 4.82 1976

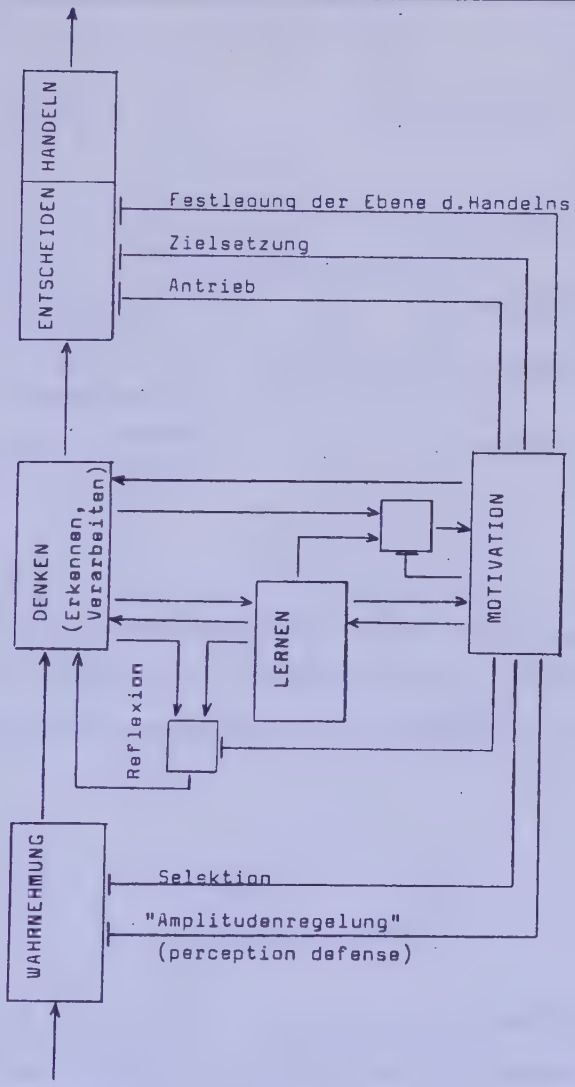


Abb. 14 : Motivation als intervenierende Variable
(nach Angaben von Haseloff)

S 8264 15000 4.82 1976

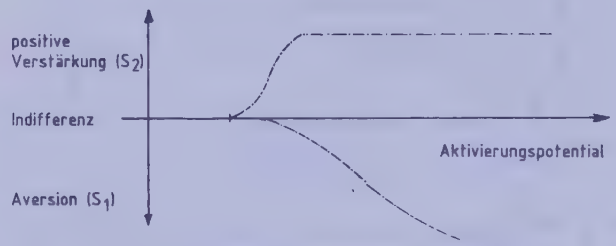


Abb. 15 : Zur 2 - Arousal - Theorie

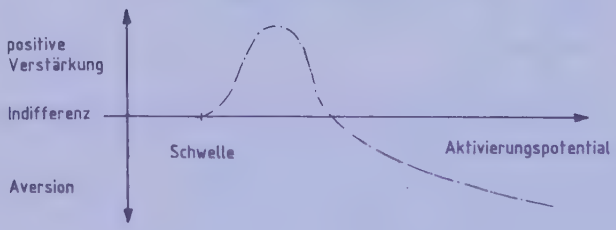


Abb. 16 : Zur 2 - Arousal - Theorie

S 6264 15000 4.82 1976

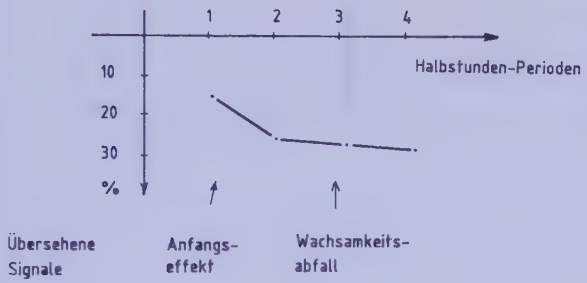


Abb. 17 : Der Vigilanz - Effekt (nach Mackworth)

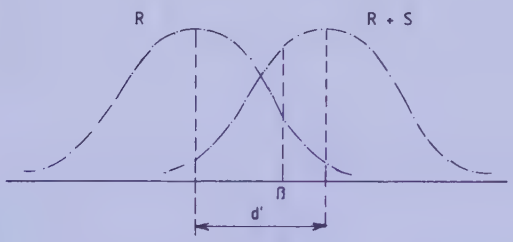


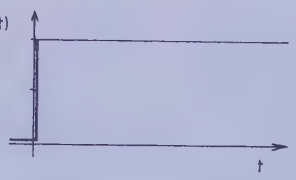
Abb. 18 : Zur Signal - Detecting - Theory

S 6264 15000 4.82 1976

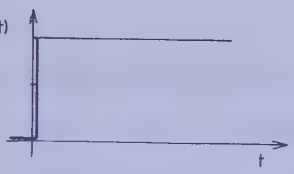
Shannon' sche Information
(der Nachricht)

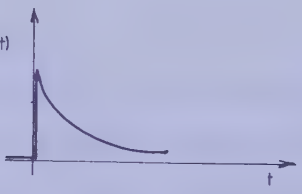
Wiener' sche Information
(für den Empfänger)

a.

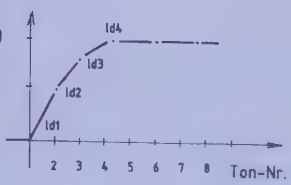


b.





c.



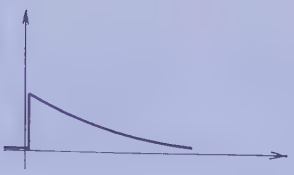
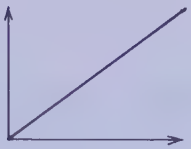


Abb. 19 : Zur Anwendung des Shannon'schen und des Wiener'schen Informationsbegriffes auf Nachricht und Empfänger

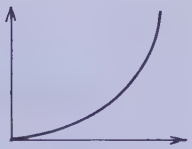
S 6264 15000 4.82 1976

Reiz

f (x) = c



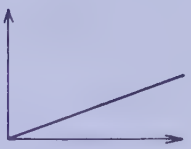
f (x) = bx



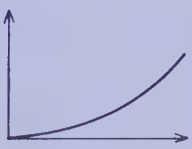
f (x) = ax2

Reizantwort
P-Verhalten

fP (x) = k·c



fP (x) = k · bx



fP (x) = k·ax2

Reizantwort
D-Verhalten

fD (x) = o

fD (x) = b

fD (x) = 2ax

Abb. 20 : Reizantwort auf 3 Funktionen
bei P-Verhalten und D-Verhalten

S 6264 15000 4.82 1976

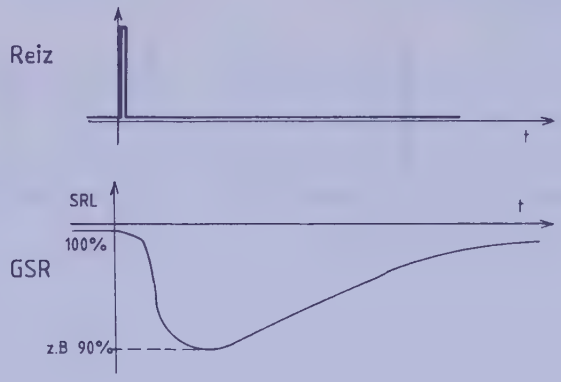


Abb. 21 : GSR auf impulsförmigen Stimulus
(Stoßfunktion)

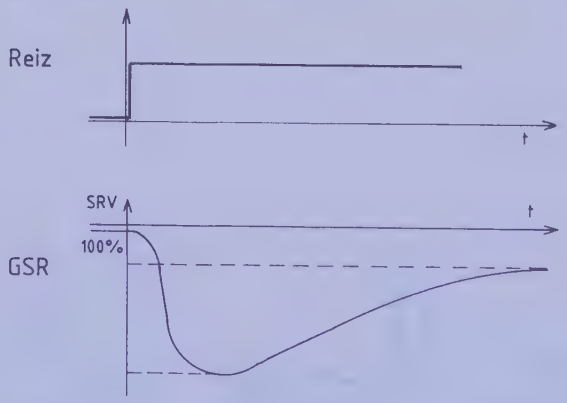


Abb. 22 : GSR auf einsetzenden Dauerstimulus
(Sprungfunktion)

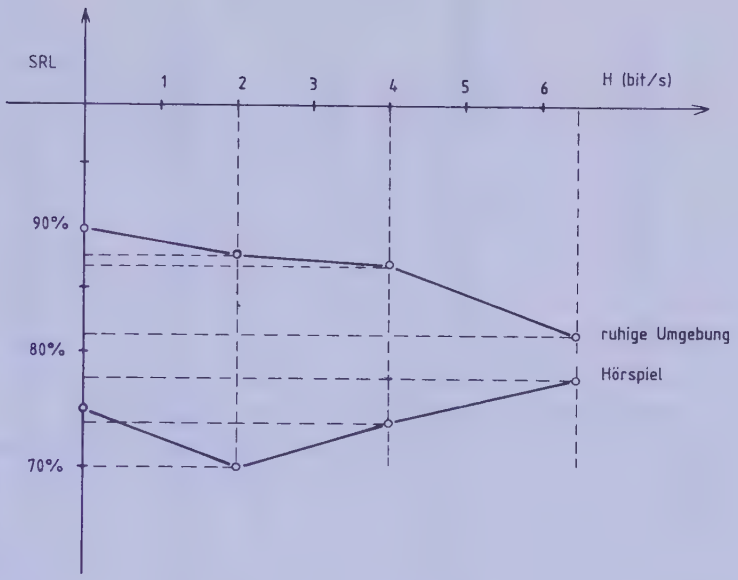


Abb. 23 : GSR auf Geräusch mit dem Informationsfluß H
in ruhiger Umgebung und während eines Hörspiels

S 6264 15000 4.82 1976

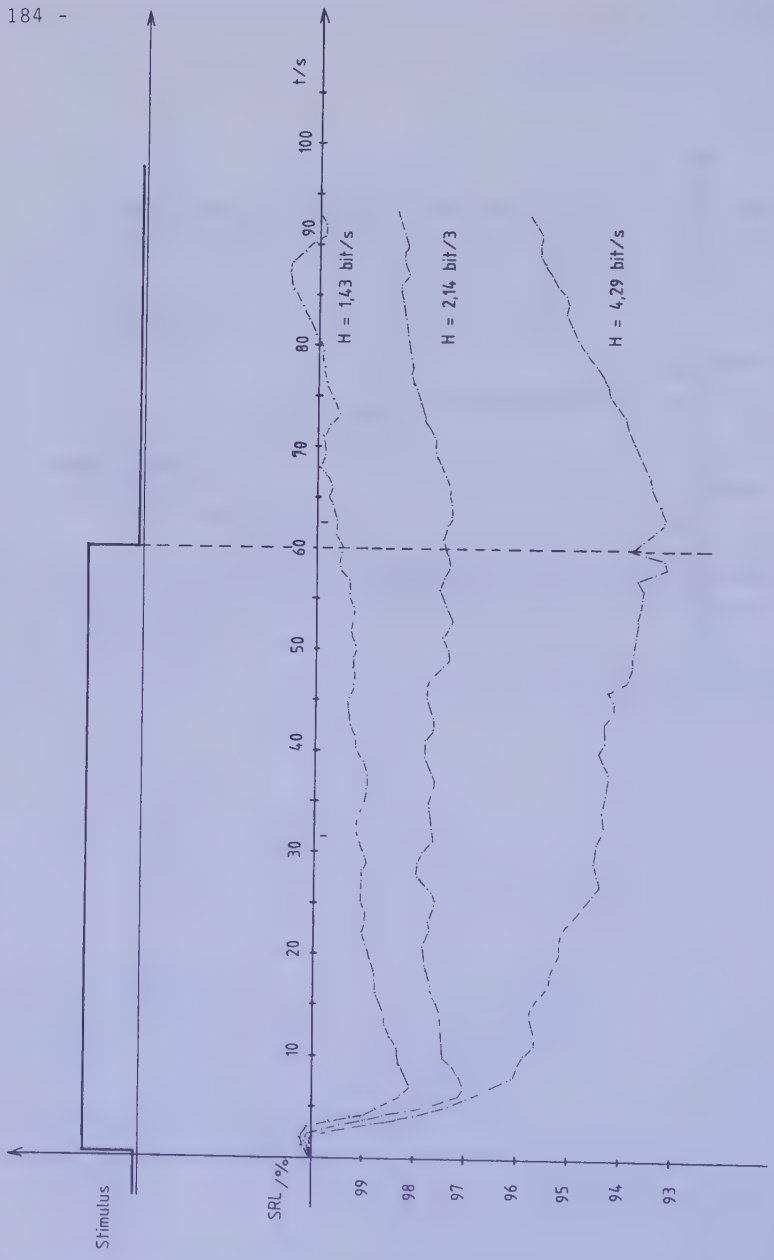


Abb. 24 : GSR auf Ablesen eines elektr. Würfels mit verschiedener Anzeigegeschwindigkeit

S 6264 15000 4 82 1976

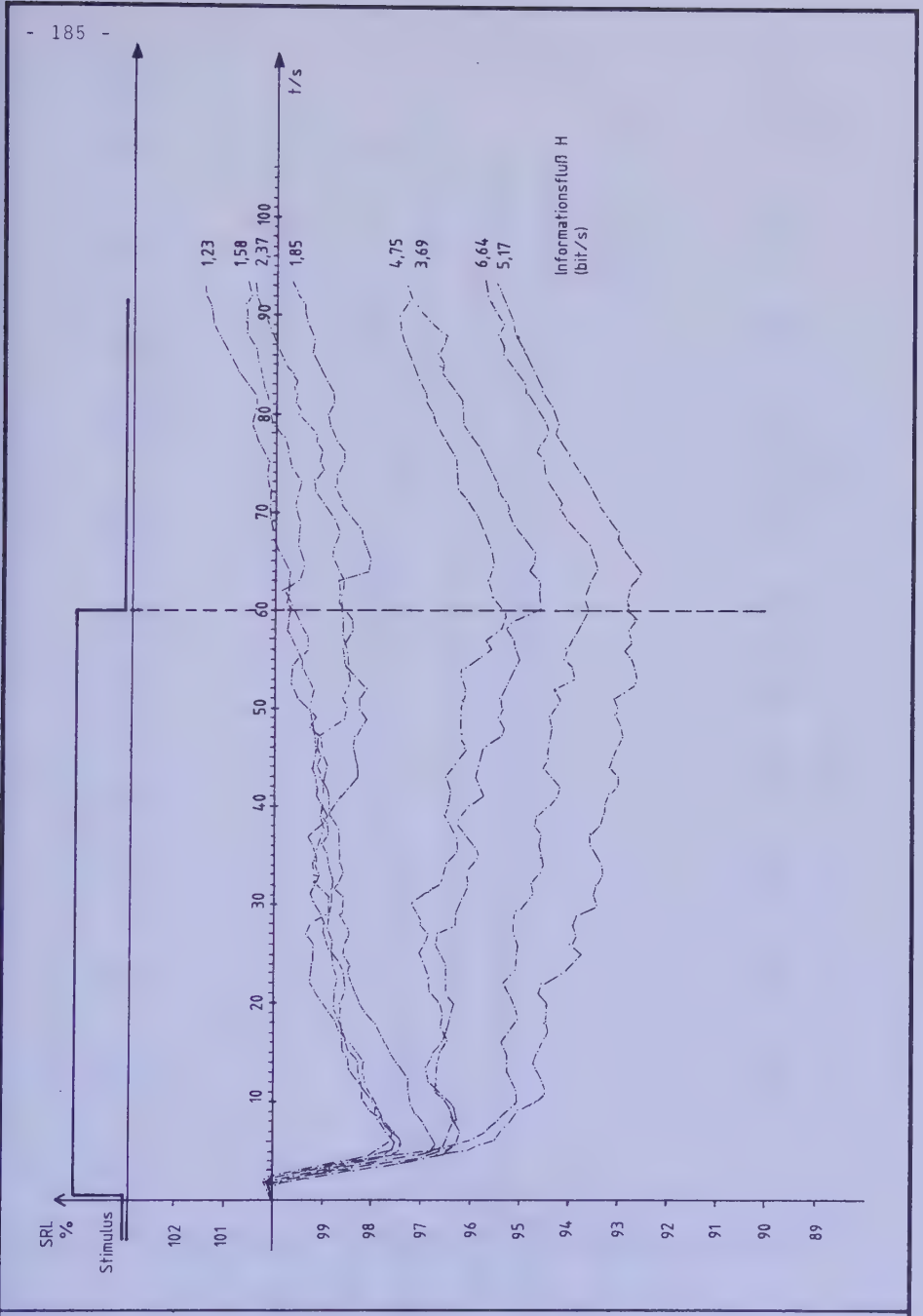


Abb. 25 : GSR auf Ablesen digital angezeigter Zahlen (Repertoire 6 bzw. 10) unterschiedlicher Anzeigegeschwindigkeit

S 6264 15000 4.82 1976

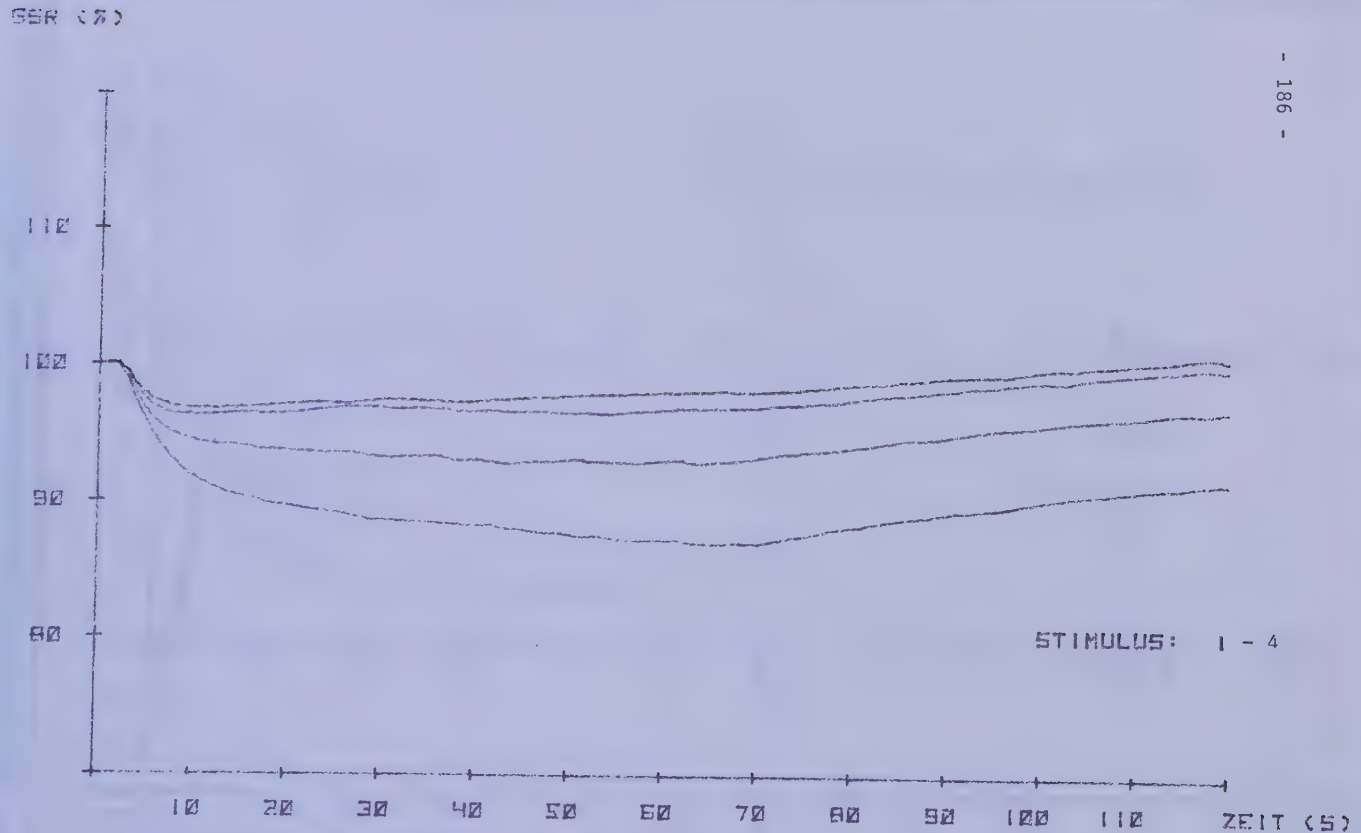


Abb. 26a : Verlauf der GRL auf die Stimuli 1 - 4

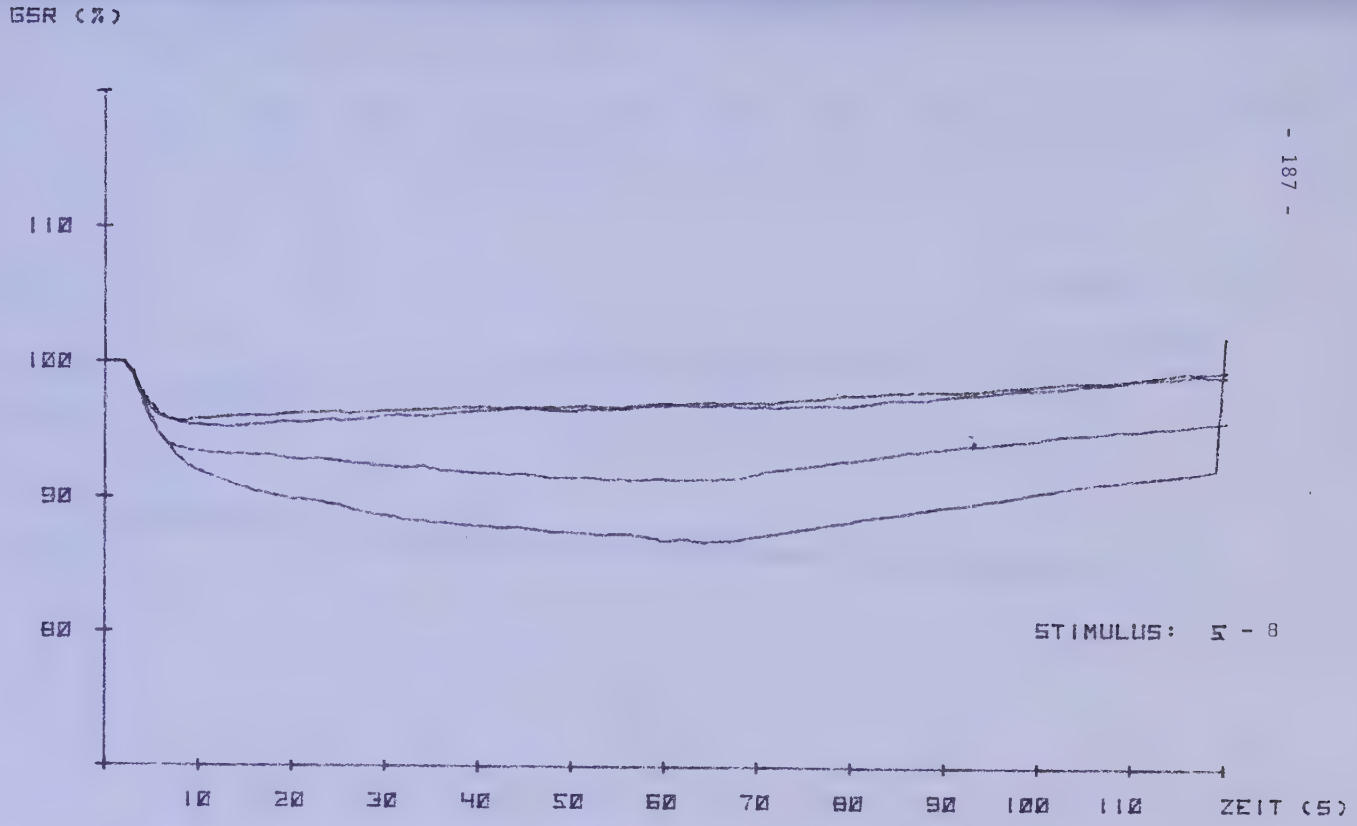


Abb. 26b : Verlauf der SRL auf die Stimuli 5 - 8

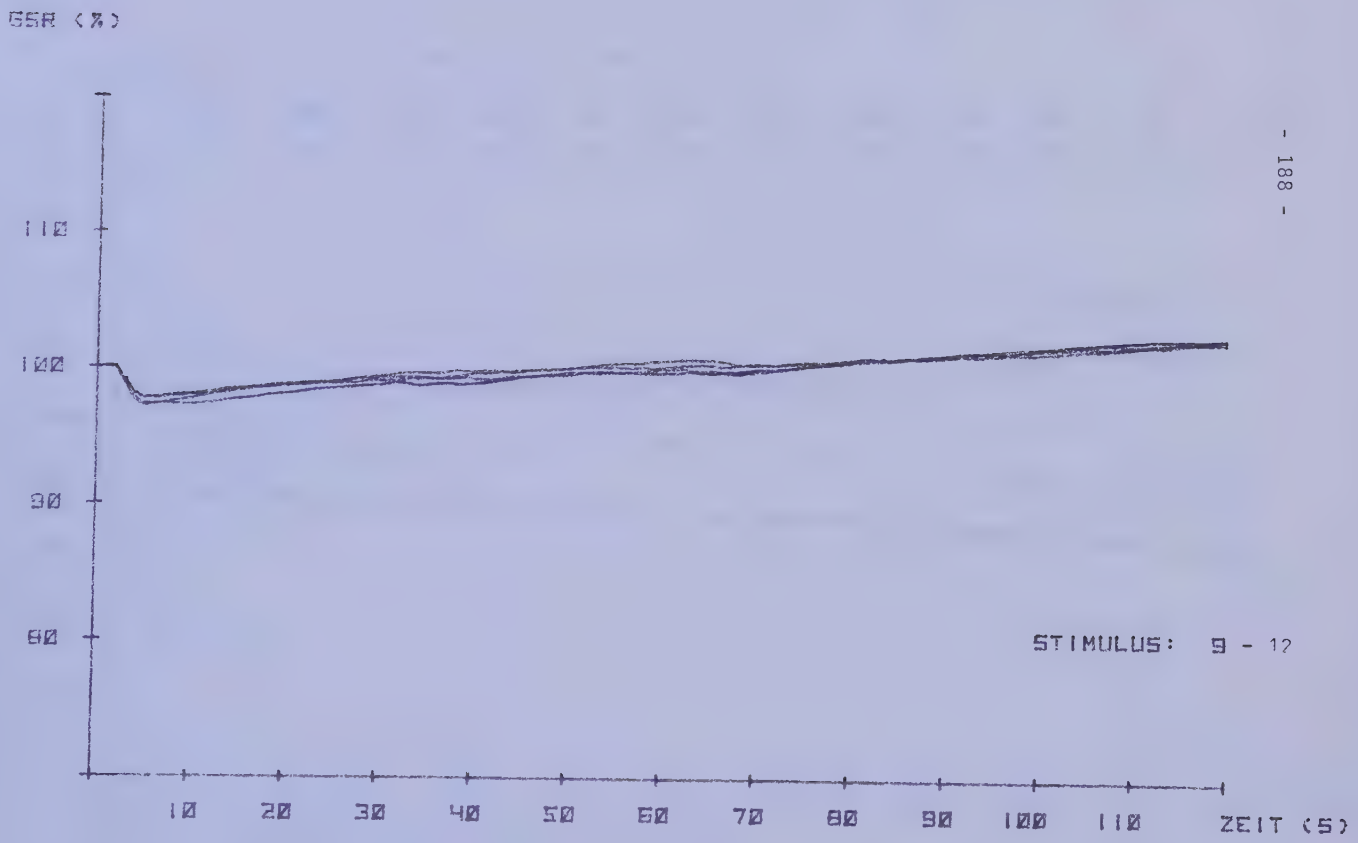


Abb. 27a : Verlauf der SRL auf die Stimuli 9 - 12

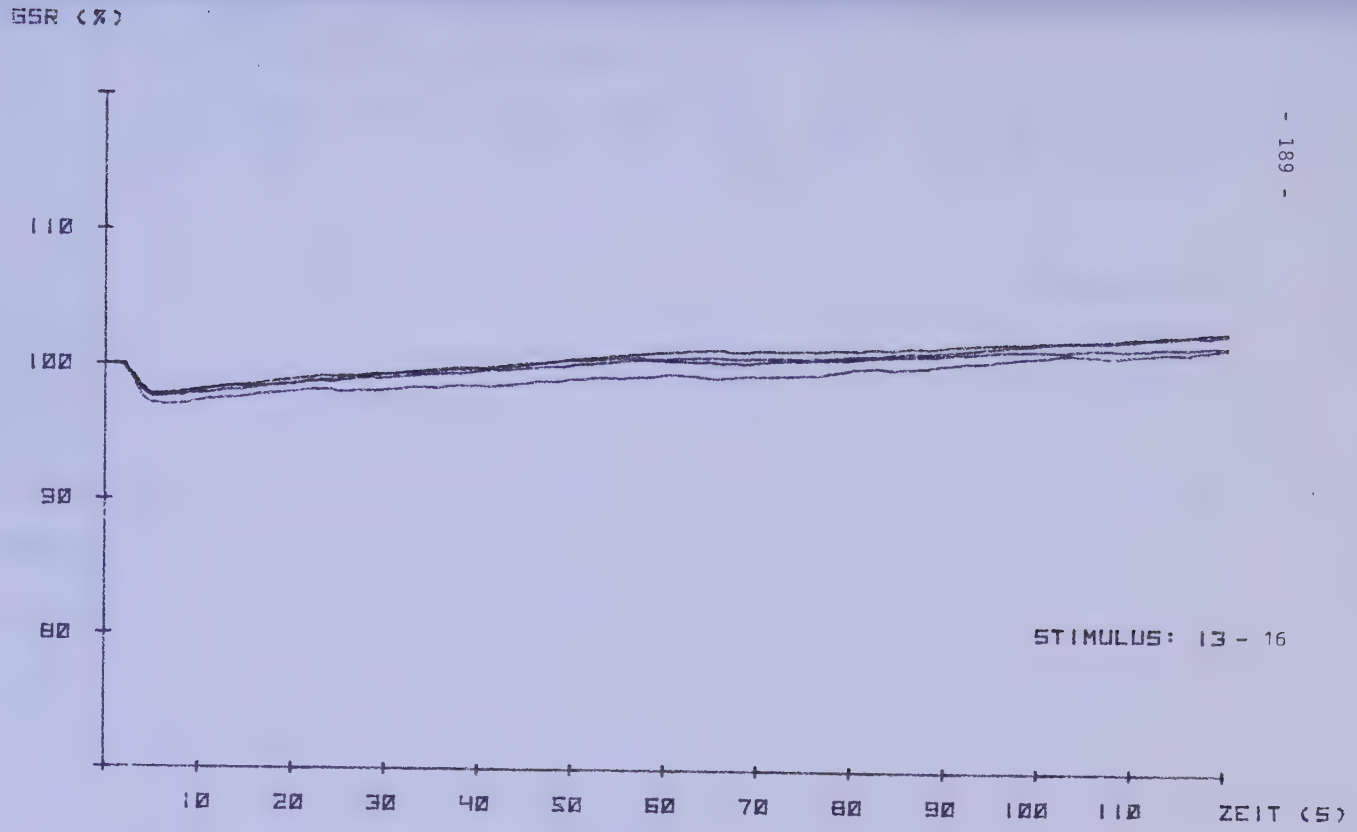


Abb. 27b : Verlauf der SRL auf die Stimuli 13 - 16

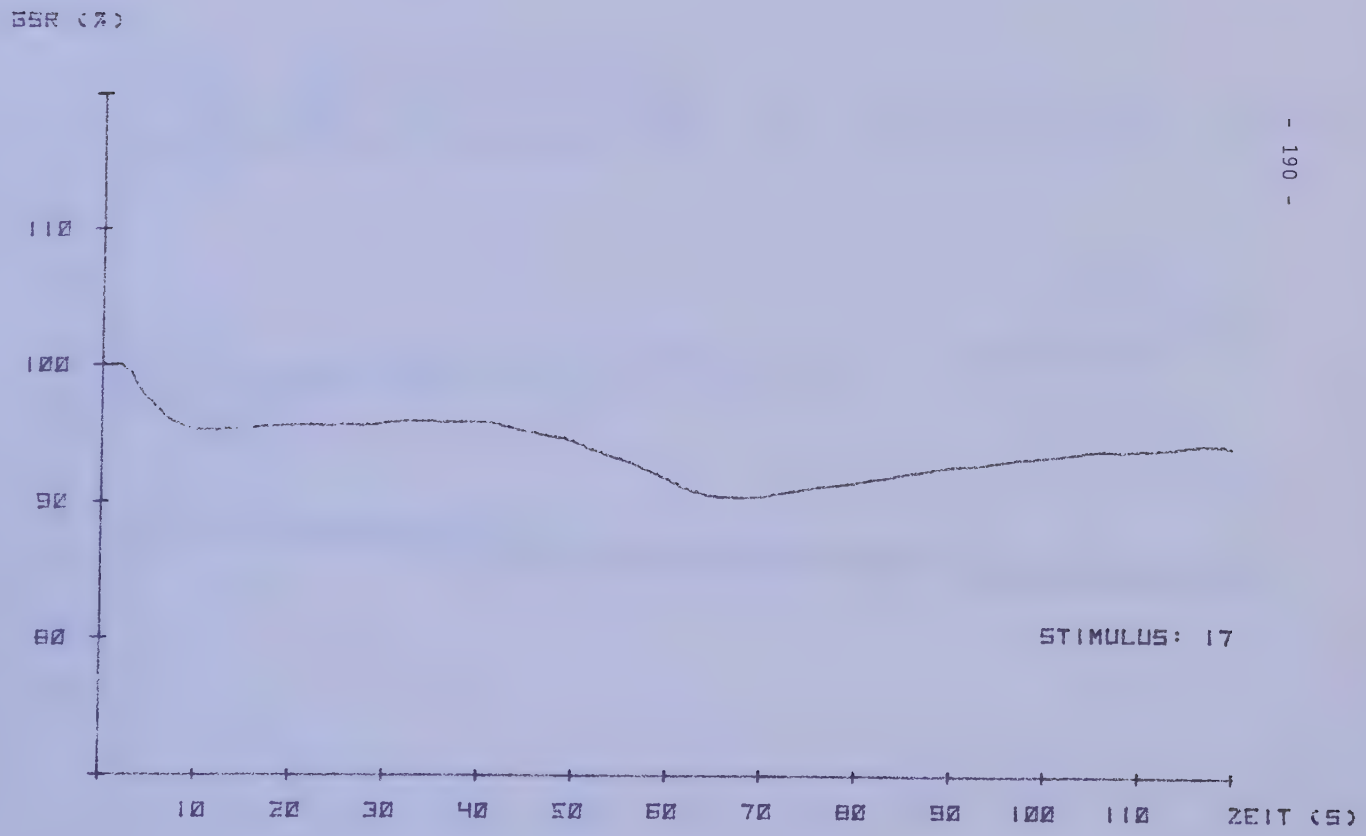


Abb. 28 : Verlauf der SRL auf den Stimulus 17

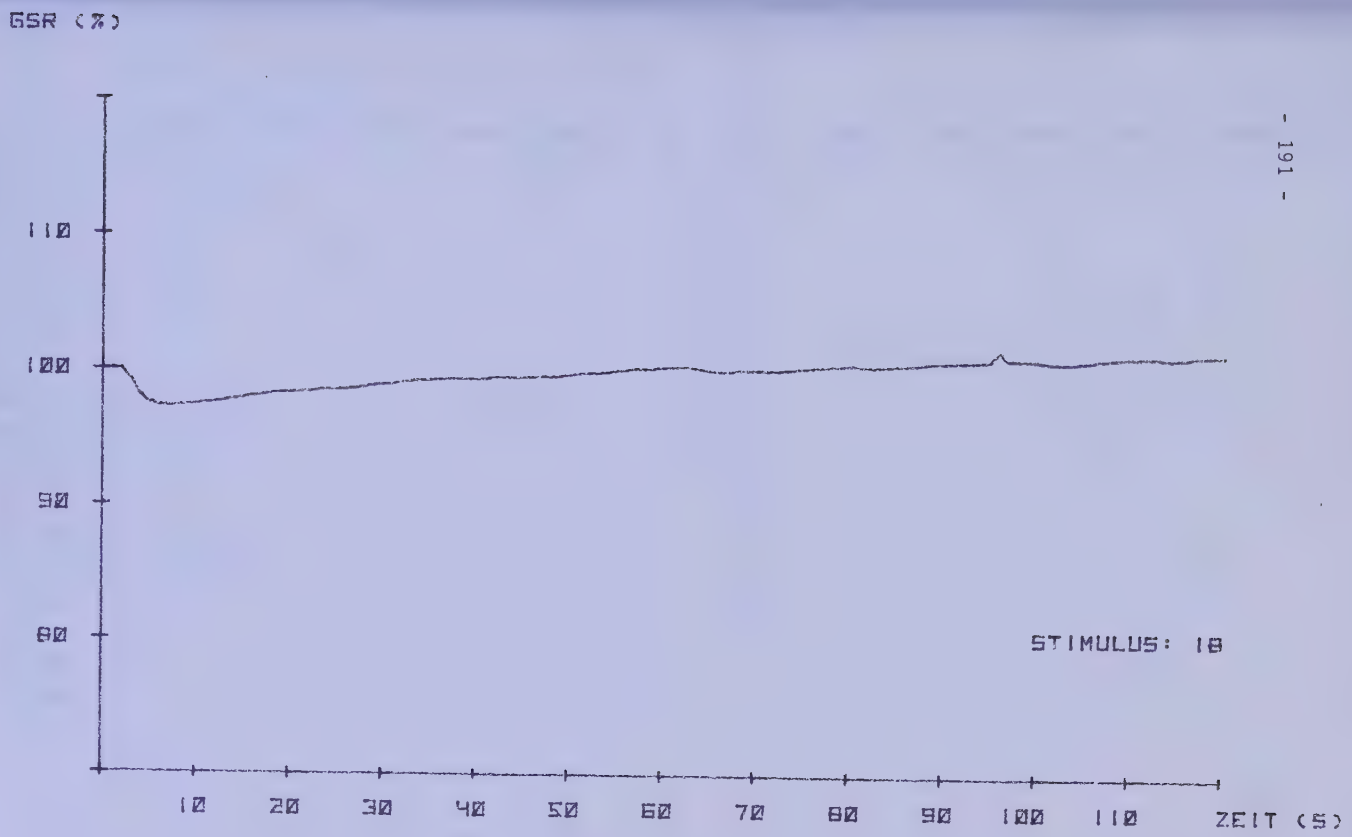


Abb. 29 : Verlauf der SRL auf den Stimulus 18

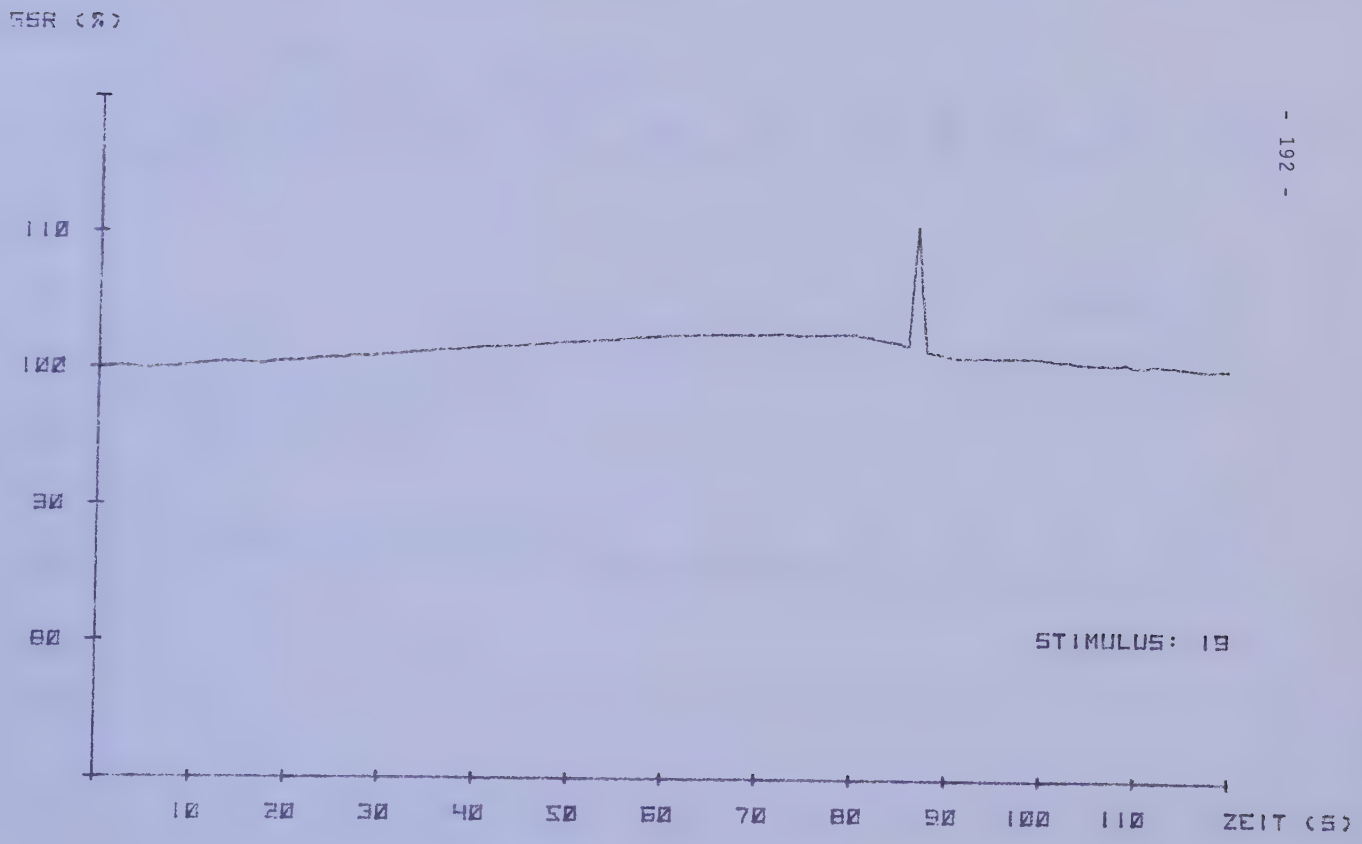


Abb. 30 : Verlauf der SRL auf den Stimulus 19

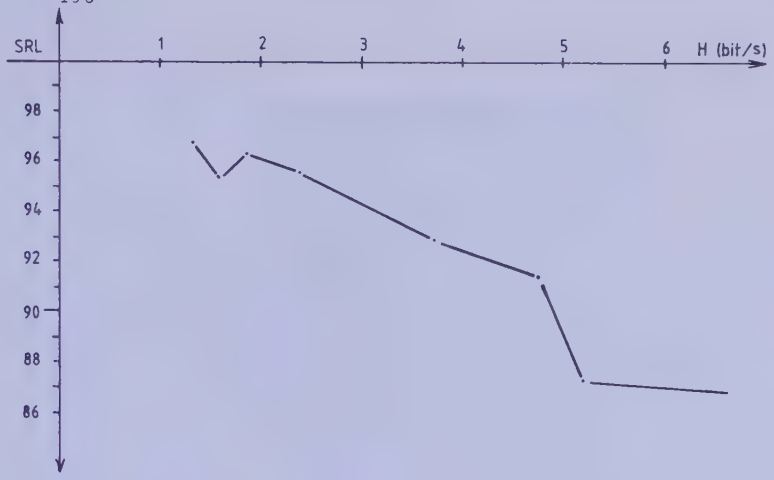


Abb. 31 : GSR auf Informationsfluß der optischen Stimuli 1 – 8
(Zahlenwerte aus Tabelle 22)

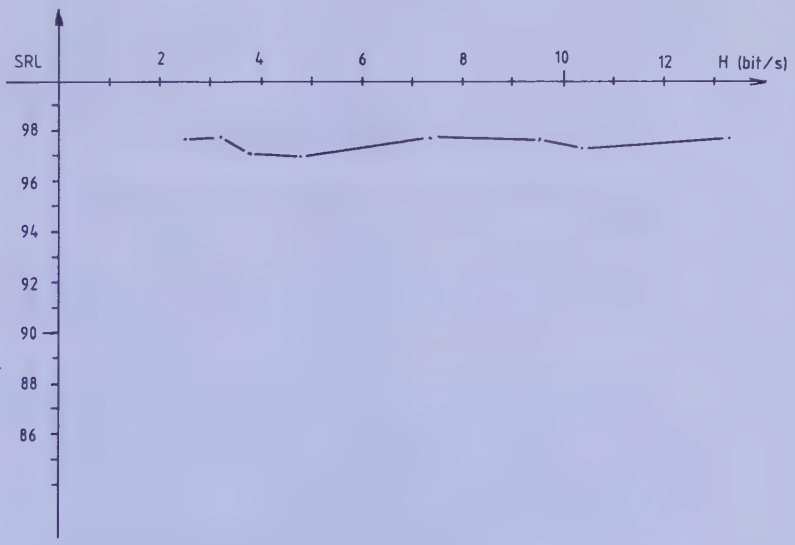


Abb. 32 : GSR auf Informationsfluß der akustischen Stimuli 9 – 16
(Zahlenwerte aus Tabelle 23)

S 8264 15000 4.82 1976

Literaturverzeichnis

/1/ Anschütz, H.: Über die Verteilung der semantischen Information in Lehrprogrammtexten Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaften (GKG), Verlag Schnelle, Quickborn, 14.1.1967

/2/ Anschütz, H.: Über den Begriff der semantischen Information, GKG 08.11.1965

/3/ Anschütz, H.: Die Invarianzeigenschaften von Maßzahlen aus dem (m,i)-Diagramm, GKG 07.10.1966

/4/ Anschütz, H.: Kybernetik - kurz und bündig Vogel-Verlag, Würzburg, 1967

/5/ Attneave, F.: Informationstheorie in der Psychologie, Verlag Hans Huber, Stuttgart, Bern 1969

/6/ Bäuerle, R.: Die Beschreibung psychophysikalischer Messungen als additiv gaußgestörte Nachrichtenübertragung Vortrag der DAGA-Tagung "Akustik und Schwingungstechnik", Stuttgart, 1972

/7/ Baumann, H.R.: Zum Problem der Signalverarbeitung des Gehirns unter dem Einfluß monotoner akustischer Reize, aus: Nitschkoff et al.: Lärmbelastung, akustische Reize und neurovegetative Störungen Edition Leipzig 1968

/8/ Birbaumer, N.: Physiologische Psychologie Springer-Verlag, Berlin 1975

/9/ Blauert,J.: Bemerkungen zur Theorie bewußt wahrnehmender Systeme, GKG 27.02.1967

/10/ Blauert,J.: Die Beschreibung von Hörversuchen anhand eines einfachen systemtheoretischen Modells Kybernetik 5, 45-49 (1969)

/11/ Block, G.: Hautwiderstandsreaktion auf unerwartete, nicht angekündigte und falsch angekündigte Geräusche mittlerer Lautstärke bis max. 70 dB(A)
Ingenieurarbeit an der FHS Hamburg, 1974

/12/ Blüm V.: Prinzipien hormonaler Regulationsvorgänge
Vortrag der Ringvorlesung Biokybernetik des SFB "Bionach" an der Ruhr-Universität Bochum 29.11.1974

/13/ Bock, W.J.: Störungen der Signalübermittlung im peripheren Nerv
"Bionach" (s.o), 13.12.1974

/14/ Bosshardt, H.G.: Beeinflussung der Reizaufnahme durch Vorstellungen
"Bionach" (s.o.), 07.02.1975

/15/ Brinkmann, U.: Der galvanische Hautreflex beim Menschen als Ausdruck vegetativer Reaktionen bei akustischer Reizung durch weißes Rauschen von 35, 45 und 60 dB(A) Schalldruck
Dissertation am Klinikum der Universität Essen, 1972

/16/ Bürck, W.: Fluglärm in der Sicht von Mensch und Technik
Kampf dem Lärm 16, 130-133 (1969)

/17/ Buschmann, U.: Unterschiede der Hautwiderstandsreaktionen auf Fluggeräusche bei fluglärmerfahrenen und -unerfahrenen Versuchspersonen
Dissertation an der Universität Essen 1975

/18/ Caspers, H.: Zentralnervensystem
in: Keidel, D.: Physiologie, 2. Auflage
Georg Thieme Verlag, Stuttgart

/19/ Cube v., F.: Grundsätzliche Probleme bei der Anwendung der Shannon'schen Formel auf Wahrnehmungstheorie und Lerntheorie
GKG, 17.11.1959

/20/ Cube v., F.: Ober informationstheoretische Probleme in Lerntheorie und Didaktik
GKG 15.07.1960

/21/ Cube v., F.: Zur Theorie des mechanischen Lernens
GKG 17.11.1960

/22/ Cube v., F.: Zur Frage des Auswendiglernens
GKG 04.01.1965

/23/ Cube v., F.: Was ist Kybernetik ?
DTV, Carl Schünemann Verlag, Bremen, 1970

/24/ Cube v., F.: Kybernetische Grundlagen des Lernens und Lehrens
Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1971

/25/ DAL : DAL-Kolloquiumsbericht Motivierung zu lärmbewußtem Verhalten
Selbstverlag, Düsseldorf, 1982
(beim Verfasser erhältlich)

/26/ DFG : Forschungsbericht Fluglärmwirkungen 1975

/27/ Ditfurth v., H.: Informationen über Information- Probleme der Kybernetik
Fischer Taschenbuch, 1971

/28/ Drischel, H.: On the dynamics of Cybernetic System of the body
bibliogr. Daten unbekannt
Kopie liegt beim Verfasser vor

/29/ Drischel, H.: Informationsspeicherung und -wiederauffindung im Nervensystem von Organismen - Fakten und Hypothesen
in: Kybernetik und Bionik
Berichtswerk über den 5. Kongress der Deutschen Ges. für Kybernetik, Nürnberg 1973
R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1974

/30/ Eckel, K.: Ober den Zusammenhang von Repertoire und Superzeichen
GKG 24.06.1964

/31/ Effertz, F.H.: Hydraulisch-taktiles Feedback-System für Prothesen und Teleoperatoren
Med. Technik Heft 12/1970

/32/ Ewald, G.: Kybernetische Grundbegriffe
"Bionach" (s.o.), 08.11.1974

/33/ Fahrenberg, J.: Die Bedeutung individueller Unterschiede für die Methodik der Aktivierungsforschung
in: Methoden der Aktivierungsforschung (herausgeg. v. W. Schönpflug)
Verlag Hans Huber, Stuttgart 1969

/34/ Feldtkeller, : Das Ohr als Nachrichten-
Zwicker, empfänger
S. Hirzel Verlag, Stuttart, 1967

/35/ Feré, C.: Note sur des modifications de la resistance électrique sous l' influence des excitations sensorielles et des émotions
C.R. Soc.Biol. Bd.5, 1888, 217-219

/36/ Fischer: Das Fischer-Lexikon: Philosophie
Fischer-Taschenbuch-Verlag, Frankfurt 1967

/37/ Frank, H.: Über grundlegende Sätze der Informationspsychologie
GKG, 19.11.1959

/38/ Frank, H.: Über eine informationspsychologische Maßbestimmung der semantischen und pragmatischen Information
GKG 07.01.1960 / 02.02.1960

/39/ Frank, H.: Über das Intelligenzproblem in der Informationspsychologie
GKG 02.06.1960

/40/ Frank,H.: Über die Kapazität der menschlichen Sinnesorgane
GKG 20.07.1960

/41/ Frank, H.: Zum Problem des vorbewußten Gedächtnisses
GKG 14.02.1961

/42/ Frank, H.: Zur Mathematisierbarkeit des Ordnungsbegriffs
GKG 30.05.1961

/43/ Frank, H.: Ober einen abstrakten Perzeptionsbegriff
GKG 17.10.1961

/44/ Frank, H.: Ober den nichtnegativen Erwartungswert von
i subj (Zk) - i (Zk)
GKG 22.07.1964

/45/ Frank, H.: Ober einen Ansatz zu einem probabilistischen Gedächtnismodell
GKG 05.10.1964

/46/ Frank, H.: Ober den Informationsgehalt von Bildern
GKG, 28.01.1967

/47/ Fuchs, W.: Gibt es mathematische Gesetze in der Sprache ?
in: Kybernetik, Brücke zwischen den Wissenschaften; herausgeg. v. Frank, H.
Umschau-Verlag, Frankfurt 1970

/48/ Gäng, P.: Pragmatische Information
GKG 24.04.1967

/49/ Gauer
Kramer
Jung : Physiologie des Menschen
Verlag Urban und Schwarzenberg
München, Berlin 1972

/50/ Glaser, E.M.: Die physiologischen Grundlagen der Gewöhnung
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1968

/51/ Goubeau, I.: Ein informationsästhetischer Ansatz zur Deutung der griechischen Musikgeschichte
GKG 07.10.1960

/52/ Groll-Knapp, E.: Die Messung physiologischer Aktivierungsindikatoren
in: Methoden der Aktivierungsforschung (s.o.)

/53/ Guski, R.: Verlaufsanalysen psychophysiologischer Geräuschreaktionen bei Flughafenanwohnern und ihr Zusammenhang mit sozialwissenschaftlich und medizinisch erfaßten Variablen
Selbstverlag, Berlin, Aug. 1975

/54/ Haider, M.: Elektrophysiologische Indikatoren der Aktiertheit in: Methoden der Aktivierungsforschung (s.o.)

/55/ Hassenstein, B.: Forschungsbeispiele aus der biologischen Kybernetik in: Kybernetik, Brücke zwischen den Wissenschaften (s.o.)

/56/ Hassenstein, B.: Der Informationsbegriff in der Biologie "Bionach" (s.o.) 22.11.1974

/57/ Hawel, W.: Zum gegenwärtigen Stand psychologischer Schallbewertung Z. exp. und angew. Psychol. 11, 281 - 287, 1964

/58/ Hawel, W.: Zur Problematik einer psychologischen Diagnose von Schalleinwirkungen Zentralblatt für Verkehrsmedizin, Verkehrspsychologie, Luft- und Raumfahrtmedizin, Heft 2, 10 Jg., Sept. 1964

/59/ Hawel, W.: Personality, Situation, Activity and Sound as Parameters of the subjective Evalution of the Annoyance of Noise IEE Conference, Publ.No.26, London 1966

/60/ Hawel, W.: A Model of a Network for Weighting the Annoyance of Noise with Respect to its Parameters on Sound-Level-Meters IEE-Conference, London, 1966

/61/ Hawel, W.: Untersuchung eines Bezugssystems für die psychologische Schallbewertung Arbeitswissenschaft 6. Jg.Nr.2, April 1967

/62/ Hawel, W.: Kategorien psychologischer Schallbewertung, 25. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie Hogrefe-Verlag, Göttingen, 1967

/63/ Heinrich, P.B.: Durchführung von Rateversuchen mit Hilfe eines Rechners
GKG 20.12.1969

/64/ Hörmann, H. : Psychologische und physiologische Reaktionen auf
Mainka, G. Geräusche verschiedener
Gummlich, H. subjektiver Wertigkeit
Psycholog. Forschung, Bd. 33, 289-309, 1970

/65/ Hofmann, K.D.: Zur Axiomatik des strukturellen Entropiemaßes
GKG 23.03.1970

/66/ Holmquest, D.: Problems in the Analysis of the Endosomatic Galvanic Skin Response
Psychophysiology, Vol.1, No.1, 48-54, 1964

/67/ Hume, D.: Eine Untersuchung über den menschlichen Verstand
Originalarbeit ca. 1750
Verlag von Felix Meiner, Hamburg, 1964
Philosophische Bibliothek, Bd.35

/68/ Janke, W.: Methoden der Induktion von Aktiviertheit
in: Methoden der Aktivierungsforschung (s.o.)

/69/ Jansen, G.: Schallbewertung als physiologisches Problem
Referat zum Colloquium "Psychologische Fragen der Lärmbekämpfung, Berlin 28./29.2.1964

/70/ Jansen, G.: Untersuchung über die Störwirkung von Geräuschen bei unterschiedlich schwierigen intellektuellen Tätigkeiten
Forschungsbericht des Landes NRW, Nr. 1652
Westdeutscher Verlag, Köln, Opladen, 1966

/71/ Jansen, G.: Einfluß der Bedeutungsgehalte von Geräuschen und Persönlichkeitsdimensionen auf lärmbedingte psychosomatische Reaktionen
Forschungsbericht für das BMI, 1972

/72/ Jansen, G.: Grenz- und Richtwerte in der Lärmbekämpfung und ihr psychophysiologischer Aussagewert
Vortrag auf der DAL-Tagung, Stuttgart, Okt. 1972

/73/ Jansen, G.: Arbeitsmedizinische Forschungen im Rahmen einer integrativen Arbeitswissenschaft
Zeitschr. f. Arbeitswissenschaft, 36, H.4, 1982

/74/ Jansen, G.: Interdiziplinäre Bearbeitung und Bewertung von Umweltfaktoren
Vortrag auf dem 12.AICB- Kongreß, 1982
Berichtband: Erfolge und Prognosen der Lärmbekämpfung

/75/ Jansen, G.: Phänomen Lärm und Arbeitsmedizin - extraaurale Lärmwirkung
Diagnostik 14, 552-559, 1981

/76/ Jansen, G.: Die Messung der Fingerpulsamplitude im Rahmen der psychophysiologischen Diagnose von Lärmwirkungen
UBA-Texte, Umweltbundesamt, Berlin, 1980

/77/ Jansen, G.: Rehm, S. Gros, E. Untersuchungen zur Frage der Lärmempfindlichkeit
Z.f. Lärmbekämpfung 27, 9-12, 1980

/78/ Jansen, G.: Griefahn, B.: Schlafstörungen durch Lärm
in: Lärm - Wirkung und Bekämpfung
herausgeg. v. Ising, H.
Erich Schmidt Verlag

/79/ Jansen, G.: Sozialmedizinisches Problem: Fluglärm
Ärztliche Praxis, 31 Jg., Nr.29, 1349,1355, 1979

/80/ Jansen, G. Gros, E.: Verkehrslärm
in: Natur- und Umweltschutz in der Bundesrepublik Deutschland
herausgeg. v. Olschowy
Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin, 1978

/81/ Keidel, W.D.: Elementarfunktionen und Informationsverarbeitung innerhalb des Zentralnervensystems
in: Kybernetik-Brücke zwischen den Wissenschaften (s.o)

/82/ Keidel, W.D.: Informationsverarbeitung
in: Lehrbuch der Physiologie
herausgeg.v. Keidel, W.D.
Georg Thieme Verlag
Stuttgart, 1970

/83/ Keidel, W.D.: Sinnesphysiologie
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1971

/84/ Keidel, W.D.: Recent advances in information processing within the auditory system
in: Kybernetik und Bionik (s.o.)

/85/ Keidel, W.D.: Physiologie der Gehörs
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1975

/86/ Klaus, G.: Wörterbuch der Kybernetik
Fischer Bücherei, Frankfurt, Hamburg, 1969

/87/ Klix, F.: Interrelationship between information-content, fixation of memory traces and internal activation state
in: Kybernetik und Bionik (s.o.), 1974

/88/ Klosterkötter, W.: Medizinische Untersuchungen über die Belastbarkeit von Menschen durch Geräusche im Hinblick auf die Immissionsrichtwerte
Forschungsauftrag BMSt I 4-70 41 02-56
Bonn 1970

/89/ Klosterkötter, W.: Kriterien zur Aufstellung von Immissions-Richtwerten
Kampf dem Lärm 19, Heft 5, 1972

/90/ Klosterkötter, W.: Lärmwirkungen und Lebensqualität
Kampf dem Lärm 20, Heft 5, 1973

/91/ Klosterkötter, W.: Lärmwirkungen und ihre Bedeutung für die Aufstellung von Imissions-Richtwerten, Arbeits-, Sozial-, Präventivmedizin 9. Jg., Heft 9, 181-186, 1974

/92/ Klosterkötter, W.: Belastbarkeit von Menschen durch Geräusche im Hinblick auf die Immissionsrichtwerte Schriftreihe des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau Städtebauliche Forschung 03.031/1974

/93/ Knapp, K.H.: Information - Rätsel zwischen Geistes- und Naturwissenschaft VDI-Vortrag vom 30.10.1974 Manuskript über Siemens, ZN Düsseldorf

/94/ Langer, D.: Informationstheorie und Psychologie Verlag für Psychologie, Göttingen, 1962

/95/ Leipp, E.: Die in Wohnräumen als Lärm betrachtete Musik Kampf dem Lärm

/96/ Lübkce, E.: Versuche zur subjektiven Be-
Mittag, G.: urteilung von Geräusche ACUSTICA, Vol.15, 255ff., 1965

/97/ Lutz, Th.: Einige Gesichtspunkte zum Begriff der Struktur GKG 20.07.1963

/98/ Lynn, R.: Attention, arousal and the orientation reaction Pergamon Press London, 1966

/99/ Mantel, J.: Informationstheoretische Grenzen für den Lärm Vortrag DAGA-Tagung, Aachen, 1973 Tagungsbericht: Fortschritte der Akustik

/100/ Mantel, J.: Die Vorausberechnung von Sprachverständlichkeit in Raumakustik und Elektroakustik Vortrag Symposium "Intelligibilitē de la Parole" Liège, 12-15.11.1973

/101/ Markert, B.: Wohlbefinden, Aktiviertheit und Leistungsverhalten bei Verkehrslärm
Z. f. Lärmbekämpfung 28, 20-24, 1981

/102/ Marko, H.: Physikalische und biologische Grenzen der Informationsübermittlung
Kybernetik, Bd.2, Heft 6, 1965

/103/ Marko, H.: Methodenlehre der Kybernetik
in: Kybernetik und Bionik (s. o.)

/104/ Meadows, D.L.: Grenzen des Wachstums
Rowolth Taschenbuch Verlag, Hamburg, 1973

/105/ Megla, G.: Vom Wesen der Nachricht
S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1961

/106/ Meyer-Eppler, W.: Grundlagen und Anwendungen der Informationstheorie
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1969

/107/ Moles, A.: Information theory and esthetic perception
University of Illinois Press, Urbana 1958

/108/ Müller, A.: Die Erforschung und Entfaltung des problemlösenden Denkens - Überblick über die wichtigsten Impulse auf diesem Gebiet,Arbeitspapier des Lehrstuhls für Didaktik der Physik an der GHS Essen, 1974

/109/ Mundie, J.R.: Signal processing principles revealed by an auditory system model
in: Kybernetik und Bionik (s.o.)

/110/ Neidhardt, P.: Erkenntnisse und Anwendungen der Informationstheorie
in: Philippow, E.:
Taschenbuch Elektrotechnik
VEB Verlag Technik, Berlin, 1969

/111/ Nemecek, J.: Individuelle und arbeitsbedingte Einflüsse auf Lärmauswirkung bei geistiger Arbeit
Z.f. Lärmbekämpfung 28, 111-116, 1981

/112/ Nesswetha, W.: Experimentelle Untersuchung zur Aktivierung der Persönlichkeit bei mentaler Belastung
Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin e.V. 12. Jahrestagung, Dortmund, 1972

/113/ Pfeiffer, R.R.: Possible reflections of basilar membrane mechanics and cochlear receptor innervations in response patterns of single cochlear nerve fibers
in: Kybernetik und Bionik (s.o.)

/114/ Pollack, I.: The information of elementary auditory displays, I.
JASA, Vol.24, No.6, 1952

/115/ Pollack, I.: The information of elementary auditory displays, II.
JASA, Vol.25, No.4., 1953

/116/ Prout, B.J.: Independence of the GSR from the vasoconstrictor reflex in man
J. Neur.Neurosurg.Psychiatr. 30, 319ff., 1967

/117/ Rein, H.: Schneider, M. Einführung in die Physiologie des Menschen
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1971

/118/ Richter, C.P.: A study of the electrical skin resistance and the psychogalvanic reflex in a case of unilateral sweating
Brain 50, 216-235, 1927

/119/ Riedel, H.: Untersuchungen zum Auffälligkeitswert
GKG, 09.05.1966

/120/ Riedel,H.: Empirische Untersuchungen zu einem informationspsychologischen Gedächtnismodell
GKG, 02.10.1966

/121/ Riedel, H.: Die Bestimmung von Speicherwerten und Zerfallskonstanten für ein informationspsychologisches Gedächtnismodell
GKG, 15.10.1966

/122/ Rohmert, W.: Analyse mentaler Belastung und Beanspruchung von Fluglotsen
Verhandlungen der Deutsch. Ges. f. Arbeitsmedizin
Dortmund 1972

/123/ Sader, M.: Untersuchungen über Bedingungen subjektiver Lautheit
"Psychologische Fragen der Lärmforschung" (s.o.)

/124/ Sader, M.: Phänomenologie der Lärmstörung
"Psychologische Fragen der Lärmforschung" (s.o.)

/125/ Sanders, A.F.: Psychologie der Informationsverarbeitung
Verlag Hans Huber,
Stuttgart, Bern, 1971

/126/ Schick, A.: Schallwirkung aus psychologischer Sicht
Verlag Klett-Cotta,
Stuttgart, 1979

/127/ Schick, A.: Akustik zwischen Physik und Psychologie
Verlag Klett-Cotta,
Stuttgart, 1981

/128/ Schönpflug, W.: Reiz - Aktivierung - Leistung
"Psychologische Fragen der Lärmforschung" (s.o.)

/129/ Schönpflug, W.: Vorgänge psychophysiologischer Aktivierung und drei Ansätze zu ihrer Untersuchung
"Methoden der Aktivierungsforschung"(s.o.)

/130/ Schönpflug, W.: Lärm und das menschliche System - die Problematik in neueren psychologischen Forschungsarbeiten
Vortrag auf der DAL-Tagung,
Stuttgart, 1972

/131/ Schönpflug, W.: Lärmwirkung, Lärmminderung, Lärmappetenz
Kampf dem Lärm 20, Heft 5, 1973

/132/ Schröder, E.: Informationsgehalt - ein neuer Parameter zur Geräuschbeurteilung
Kampf dem Lärm 21, Heft 5, 121-123, 1974

/133/ Schröder, E.: Lärm - Entwurf einer Definition
Z.f. Lärmbekämpfung 28, 154-155, 1981

/134/ Schröder, E.: Der "Lärm-Kranke" in der Praxis des Allgemeinmediziners
Z.f. Allgemeinmedizin 57, 1543-1547, 1981

/135/ Schwartzkopff, J.: "Sprache", Hören und "Verstehen" bei Tieren
"Bionach" (s.o.) 06.12.1974

/136/ Seelen v., W.: Methoden zum Vergleich des Leistungsvermögens biologischer und technischer Empfangssysteme
in: Kybernetik und Bionik (s.o.)

/137/ Sokolow, Y.N.: Perception and the conditioned reflex
Pergamon Press Oxford, London 1963

/138/ Stachowiak, H.: Denken und Erkennen im kybernetischen Modell
Springer- Verlag, Berlin, Wien, 1969

/139/ Stahl, V.: Informationswissenschaft und Musikanalyse
GKG 31.08.1964

/140/ Steinbuch, K.: Läßt sich das Problem der Intelligenz kybernetisch bewältigen ?
"Kybernetik - Brücke zwischen den Wissenschaften" (s.o.)

/141/ Steinbuch, K.: Automat und Mensch
Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, 1971

/142/ Steinbuch, K.: Kurskorrektur
Seewald Verlag, Stuttgart, 1973

/143/ Stever, H.: Zur Ungleichung zwischen der mittleren objektiven und der mittleren subjektiven Information
GKG 08.04.1971

/144/ Stumpner, G.: Relativbewertung der Lästigkeit experimenteller stochastischer Geräusche
ACUSTICA, Vol. 24, Heft 1, 1971

/145/ Tanner, W.P.: Theory of signal detectabilitiy as an interpretive tool für psychophysical data
JASA, Vol. 32, No.9. 1960

/146/ Tarchanoff, J.: Ober die galvanischen Erscheinungen in der Haut des Menschen bei Reizungen der Sinnesorgane und bei verschiedenen Formen der psychischen Tätigkeit
Pflügers Archiv d. ges. Physiologie,
46, 46-55, 1890

/147/ Traxel, W.: Die Möglichkeit einer objektiven Messung der Stärke von Gefühlen
Psycholog. Forschung 26, 75-90, 1960

/148/ Traxel, W.: Die Bestimmung einer Unterschiedsschwelle für Gefühle
Psycholog. Forschung, 25, 433-454, 1959

/149/ Trincker, D.: Informationsspeicherung bei Lebewesen
"Kybernetik - Brücke zwischen den Wissenschaften"(s.o.)

/150/ Veraguth, O.: Das psychogalvanische Reflexphänomen
Verlag S.Karger, Berlin, 1910

/151/ Vester, F.: Hormone und die Umwelt des Menschen
"Die Kapsel", Zeitschrift der R.P. Scherer GmbH, Nr. 31

/152/ Vester, F.: Der Weg des vorausschauenden Steuers
Umwelt, Heft 1, 1974

/153/ Vossius, G.: Der kybernetische Aspekt der Willkürbewegung
in: Process on Biocybernetics
Elsevier, Amsterdam, London, 1965

/154/ Vossius, G.: Die Augen- und Kopfbewegungen als Verarbeitungsergebnis höher organisierter Systemstrukturen
in: "Kybernetik und Bionik (s.o.)"

/155/ Wagner, A.: Empirische Untersuchungen zum Gedächtnismodell der Informationspsychologie
GKG 19.03.1968

/156/ Wagner, H.N.: Electrical skin resistance studies in two persons with congenital absence of sweat glands
Arch. Dermatol. Syphidol. 65, 543ff., 1952

/157/ Wang, G.H.: The galvanic skin reflex; a review of old and recent works from a physiologic point of view
Americ. J. of physic. med. Jg.36, Baltimore 1957

/158/ Weizsäcker v., C.F.: Materie und Bewußtsein
in: Die Einheit der Natur
Studien von Weizsäcker v., C.F.
Hansen Verlag, München, 1982

/159/ Weizsäcker v., C.F.: Fragen an die Tiefenpsychologie
in: Die Einheit der Natur (s.o.)

/160/ Weizsäcker v., C.F.: Das philosophische Problem der Kybernetik
in: Die Einheit der Natur (s.o.)

/161/ Weltner, K.: Sprachliche Information und Pädagogik
in: Kybernetik - Brücke zwischen den Wissenschaften (s.o.)

/162/ Weltner, K.: Zur empirischen Bestimmung subjektiver Informationswerte von Lehrbuchtexten mit dem Ratetest nach Shannon
GKG 18.07.1964

/163/ Weltner, K.: Zum Ratetest nach Shannon
GKG 14.06.1965

/164/ Weltner, K.: Ober die empirische Bestimmung subjektiver Informationswerte
GKG 24.11.1965

/165/ Wiener, N.: Kybernetik
Econ-Verlag, Düsseldorf, Wien, 1963

/166/ Willms, W.: Schallbelastung, Lärmbelästigung
Kampf dem Lärm 20, Heft 5, 1973

/167/ Winckel, F.: Das Gehör in informationstheoretischer Behandlung
Arch. Ohr-, Nas.-, und Kehlk.-Heilk. Bd.182, 456-470, 1963

/168/ Zahn, H.E.: Lärm und Vigilanz
"Psychologische Fragen der Lärmbekämpfung" (s.o.)

/169/ Zwicker, E.: Nachbildung des Gehörs - nützliches Hilfsmittel bei der Spracherkennung
in:"Kybernetik und Bionik (s.o.)

Danksagung

Mit großem Respekt gedenke ich des 1978 verstorbenen Herrn Professor Dr. med. Werner Klosterkötter, Direktor des Instituts für Hygiene und Arbeitsmedizin am Klinikum der Universität Essen, der in vielen Gesprächen die Idee zu dieser Arbeit mit gestaltete und großzügig unterstützte, sowie in seinem Institut die hier beschriebenen Experimente ermöglichte.
Den Mitarbeitern dieses Institutes sei für ihre freundliche Unterstützung ebenfalls gedankt.

Herrn Professor Dr. rer. nat. F.H. Effertz, Universität Essen, danke ich für zahlreiche kritische Diskussionen und Anregungen zu naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten dieser Arbeit.

Herrn Professor Dr. phil. W. Schönpflug, Direktor des Instituts für Psychologie der Freien Universität Berlin, danke ich ebenfalls für wichtige Diskussionsbeiträge.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. med. Dr. phil. G. Jansen, Direktor des Instituts für Arbeitsmedizin der Universität Düsseldorf, für die Übernahme der Betreuung dieser Arbeit mit zahlreichen weiteren Anregungen und für die Erstellung des Referates.

Lebenslauf

am 11.02.1948 in Düsseldorf geboren

1954 - 1956	ev. Volksschule Köln-Bayenthal
1956 - 1958	ev. Volksschule Köln-Dellbrück
1958 - 1966	neusprachl. Gymnasium Köln-Deutz
Okt. 1966	Abitur
1966 - 1972	Studium der Elektrotechnik an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
Juni 1972	Abschluß als Diplom-Ingenieur
1972 - 1976	wissenschaftlicher Assistent am Institut für Hygiene und Arbeitsmedizin, Klinikum der Universität Essen (Direktor: Professor Dr. med. W. Klosterkötter)
1972 - 1975	nebenberuflich Lehrer für Physik am Geschwister-Scholl-Gymnasium, Düsseldorf
1976 - 1982	Studium der Medizin an der Universität Düsseldorf
1976 - 1982	Geschäftsführer des DAL (Deutscher Arbeitsring für Lärmbekämpfung e.V.)
1976 - 1982	Hauptschriftleiter der Zeitschrift für Lärmbekämpfung (Springer-Verlag) (früher: Kampf dem Lärm)
ab 1980	Mitglied des Vorstandsrates des DAL
Juni 1982	Approbation als Arzt
ab 1982	Arzt am ST.-Marien-Krankenhaus, Ratingen Innere Abteilung (Chefarzt: Dr. med. R. H. Groß)
ab 1983	Mitglied der Hauptschriftleitung der Zeitschrift für Lärmbekämpfung

Zusammenfassung

Anhand einleitender Überlegungen und zahlreicher Beispiele wird gezeigt, daß sich Schall bezüglich seiner Wirkung auf den Menschen durch zwei fundamentale Eigenschaften beschreiben läßt: seine Energie und seine Information.

Über den Zusammenhang zwischen der Schallenergie und dem Entstehen einer Lärmempfindung, sowie physiologischen Reaktionen, werden zahlreiche Untersuchungen aus der Literatur angeführt.

Über den Einfluß der Schallinformationen gibt es bislang nur Erfahrungen aus Einzeluntersuchungen, aber noch kein geschlossenes Konzept.

Diese Untersuchung soll dazu beitragen, den Informationsbegriff für die Lärmforschung anwendbar zu machen.

Zunächst wird der Informationsbegriff präzisiert, d.h. soweit wie möglich einer physikalischen Beschreibung zugänglich gemacht.
Seine Anwendung zur Beschreibung von Schallereignissen wird diskutiert, dabei wird besonders die Verarbeitung akustischer Signale im Menschen berücksichtigt.

Syntaktische, semantische und subjektive (pragmatische) Informationen werden unterschieden.

Möglichkeiten und Grenzen der quantitativen Bestimmung der Information eines Geräusches werden diskutiert.

Im folgenden wird der Mensch als Empfänger des Schalls, als informationsverarbeitendes System mit den typischen Eigenschaften eines biologischen Systems dargestellt.
Grundsätzliche Möglichkeiten der Betrachtungsweise eines solchen Systems, insbesondere die kybernetische Betrachtungsweise werden ausführlich dargestellt.

Bisherige Theorien der Verarbeitung von Schall durch den Menschen werden ausführlich diskutiert; insbesondere wird dargestellt, daß sich das bewährte Aktivierungskonzept nahezu widerspruchsfrei um den Parameter Schallinformation erweitern läßt.

Im experimentellen Teil wird für eine optische Zahlendarbietung eine gleichsinnige Abhängigkeit der Hautwiderstandsreaktion vom Informationsfluß der Darbietung beobachtet.
Diese Abhängigkeit fand sich für einen akustischen Stimulus mit variablem Informationsfluß nicht.
Die möglichen Ursachen dieser Differenz werden diskutiert, weitere Untersuchungen werden vorgeschlagen.

Druck und Verarbeitung: Dissertations Druck Darmstadt, Tel. 0 61 51 / 21 3 53